Universidade Católica de Brasília

Pró-Reitoria Acadêmica
Curso de Relações Internacionais
Trabalho de Conclusão de Curso

O FENÔMENO DA EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA DA SOJA NO BRASIL E O CONTROLE DE SINTONIA FINA: PERSPECTIVAS PARA UMA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

Autor: André Ilario de Lucena
Orientador: Prof. Dr. Gustavo Menon

Brasília - DF
2025

ANDRÉ ILARIO DE LUCENA

O FENÔMENO DA EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA DA SOJA NO BRASIL E O CONTROLE DE SINTONIA FINA: PERSPECTIVAS PARA UMA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

Monografia apresentada ao curso de graduação em relações internacionais da Universidade Católica de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em relações internacionais.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Menon

Brasília
2025

RESUMO

A presente monografia debruça-se sobre o complexo fenômeno da expansão da fronteira agrícola da soja no Brasil, discernindo não apenas sua relevância inquestionável para a economia nacional e o posicionamento internacional do país, mas também as implicações intrínsecas de seu desenvolvimento desordenado, à luz do controle de sintonia fina. A análise incursiona pelas raízes dessa expansão, investigando a influência do crédito rural e dos mecanismos do mercado financeiro, desde o advento do "milagre econômico" até a contemporaneidade, com especial atenção aos Planos Safra e à crescente imbricação do capital privado no setor. Simultaneamente, este estudo explorou como a pesquisa agropecuária catalisou a progressão da sojicultura para diversas latitudes nacionais, contrastando esse avanço com a preocupante e muitas vezes descontrolada perda de biodiversidade. Argumenta-se que a problemática central não reside no processo produtivo da soja em si, mas sim na sua expansão territorial descontrolada. Infere-se que a desproporcionalidade entre as políticas de incentivo e os insuficientes mecanismos de controle ambiental constitui a causa primária desse desequilíbrio, confirmando a hipótese da imperatividade do controle de proporcionalidade na estrutura político-regulatória brasileira. A abordagem metodológica adotada compreende a pesquisa bibliográfica e documental, com a utilização de dados e informações secundárias provenientes de instituições oficiais e estudo comparativo. Propõem-se, em suma, a reorganização institucional, jurídica e orçamentária dos instrumentos normativos de controle como via estratégica para uma produção sojícola mais intensiva e genuinamente sustentável, garantindo a perenidade dos benefícios econômicos sem comprometer ecossistemas vitais.

Palavras-chave: Soja; Fronteira agrícola; Controle de sintonia fina; Crédito rural; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This monograph delves into the complex phenomenon of soybean agricultural frontier expansion in Brazil, discerning not only its unquestionable relevance for the national economy and the country's international standing, but also the intrinsic implications of its disordered development, in light of the *Stimmigkeitskontrolle*. The analysis delves into the roots of this expansion, investigating the decisive influence of rural credit and financial market mechanisms, from the advent of the "economic miracle" to contemporary times, with particular attention to the Crop Plans (Planos Safra) and the growing entanglement of private capital in the sector. Simultaneously, this study explored how agricultural research catalyzed the progression of soybean farming across various national latitudes, contrasting this advance with the worrying and often uncontrolled loss of biodiversity in critical biomes. It is argued that the central problem does not lie in the soybean production process itself, but rather in its uncontrolled territorial expansion. It is inferred that the disproportionality between incentive policies and insufficient environmental control mechanisms constitutes the primary cause of this imbalance, confirming the hypothesis of the imperative of proportionality control in the Brazilian political-regulatory structure. The adopted methodological approach comprises bibliographic and documentary research, utilizing secondary data and information from official institutions, complemented by a critical analysis of public policies and comparative study. In summary, the reorganization of institutional, legal, and budgetary aspects of normative control instruments is proposed as a strategic path towards a more intensive and genuinely sustainable soybean production, ensuring the perpetuation of economic benefits without compromising vital ecosystems.

Keywords: Soybean; Agricultural frontier; Fine-tuning control; *Stimmigkeitskontrolle*; Rural credit; Sustainability.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **5**
1. A SOJA E O CRÉDITO RURAL **6**
1.1 CONTEXTO HISTÓRICO DO CRÉDITO RURAL NO BRASIL 6
1.2 A INFLUÊNCIA DO MERCADO FINANCEIRO NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO 14
1.3 A COMPOSIÇÃO DOS PLANOS SAFRA 16
2. IMPLICAÇÕES DA EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA **19**
2.1 O FENÔMENO DE EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA DA SOJA 19
2.2 ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO PRODUTIVO SOJÍCOLA 25
2.3 A RELAÇÃO DA EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA COM OS ECOSSISTEMAS 30
3. IDENTIFICAÇÃO DE EXCESSOS E O CONTROLE DE SINTONIA FINA **33**
3.1 RECURSOS PARA UMA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL 33
3.2 O CONTROLE DE SINTONIA FINA NO ÂMBITO DO AGRONEGÓCIO 38
3.3 PERSPECTIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL 43
CONSIDERAÇÕES FINAIS **48**
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **51**
APÊNDICE 1 - RESUMO DAS FONTES AVALIADAS EM "TABELA 2" **65**

INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro, especialmente a sojicultura, desempenha um papel fundamental na economia nacional, configurando-se como um dos principais motores do crescimento e da geração de divisas do país. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Brasil, 2023), a soja é a principal *commodity* agrícola exportada pelo Brasil, representando cerca de 30% do total das vendas externas do setor. Além disso, a soja tem forte impacto na cadeia produtiva, estimulando a indústria, o comércio e o desenvolvimento regional (EMBRAPA, 2022). Dada a indissociabilidade entre atividade econômica e o posicionamento brasileiro no mercado internacional, é preciso projetar o seu desenvolvimento de forma sábia, levando em consideração todas as consequências que rodeiam o processo de expansão. Entre 2007 e 2019, a área do plantio de soja expandiu em cerca de 1,4 milhão de hectares por ano (tradução própria) (Marin et al., 2022), portanto, ao cogitar o progresso, deve-se integrar a perspectiva sustentável, com vistas a mitigar as consequências negativas da perda de biodiversidade, considerando que é uma cultura que é fortemente retardada pelas mudanças climáticas e a má gestão de recursos.

No âmago desta compreensão, o objetivo do trabalho recai na análise do panorama brasileiro de sojicultura, com vistas à identificação e elucidação da principal ameaça no tocante à expansão territorial da soja e à proposição de soluções. Com isso, o estudo se divide em três capítulos principais, onde o primeiro introduz a pesquisa, com o objetivo de destacar a força motriz do processo expansionista da soja no Brasil, com ênfase nas modalidades de crédito rural e mecanismos do mercado financeiro, e como esses mecanismos de financiamento e incentivo estatal impactaram a consolidação da soja na base exportadora brasileira, assim como sua célere ascensão. Destaca-se, portanto, a análise dos Planos Safra, devido à sua robustez orçamentária e ampla cobertura nacional, sendo um ponto de inflexão na história do crédito rural no Brasil.

No segundo capítulo, serão abordadas as nuances da expansão da soja no Brasil, com o objetivo de compreender como e por que a fronteira agrícola se comporta de tal maneira no país. Além disso, visando à compreensão do impacto ambiental causado pela cultura da soja, será feita uma análise do processo produtivo e da existência, ou não, de mecanismos que façam da produção ambientalmente responsável, permitindo assim o levantamento dos principais desafios do modelo de negócio em relação ao meio ambiente. Por fim, serão estudados os impactos da expansão sojícola de forma macro sobre os ecossistemas brasileiros.

Já no terceiro capítulo, após identificar os principais desafios ambientais da expansão da soja e compreender os mecanismos de incentivo, será feito um levantamento das políticas de controle ambiental, objetivando uma análise quanto ao princípio do controle de sintonia fina, buscando revelar possíveis excessos em qualquer uma dessas esferas. Tal inquietação parte da hipótese de que não há proporcionalidade dentro do arcabouço normativo e orçamentário brasileiro quanto aos incentivos e ao controle. A partir das descobertas encontradas, será possível propor soluções para as lacunas que nem sempre são exclusivamente financeiras.

Por fim, este trabalho utiliza uma metodologia que se assenta, principalmente, em uma análise de bibliografia e estudo comparativo. Nos dois primeiros capítulos, em que se busca compreender as razões da expansão da soja em concomitância com suas consequências, prioriza-se o uso de fontes primárias e secundárias, utilizando dados oriundos de instituições reconhecidas, como a Embrapa, o IBGE, o Banco Central e relatórios do poder executivo, a fim de assegurar a fidedignidade das informações relacionadas à pauta de exportações brasileiras no setor sojícola, dispostos sob uma linha argumentativa lógica e causal. Já no terceiro capítulo, faz-se uma análise crítica das políticas públicas selecionadas, com vistas à identificação dos excessos, para obtenção do resultado dentro do âmbito do controle de sintonia fina, que requer o método em questão. Dessa forma, o trabalho compila dados governamentais e análises de artigos acadêmicos para uma compreensão global do objeto de estudo, que é a expansão territorial da soja à luz do controle de sintonia fina. Finalmente, propõem-se soluções que visam à perpetuação deste modelo de negócio de forma responsável e, principalmente, controlada.

1. A SOJA E O CRÉDITO RURAL

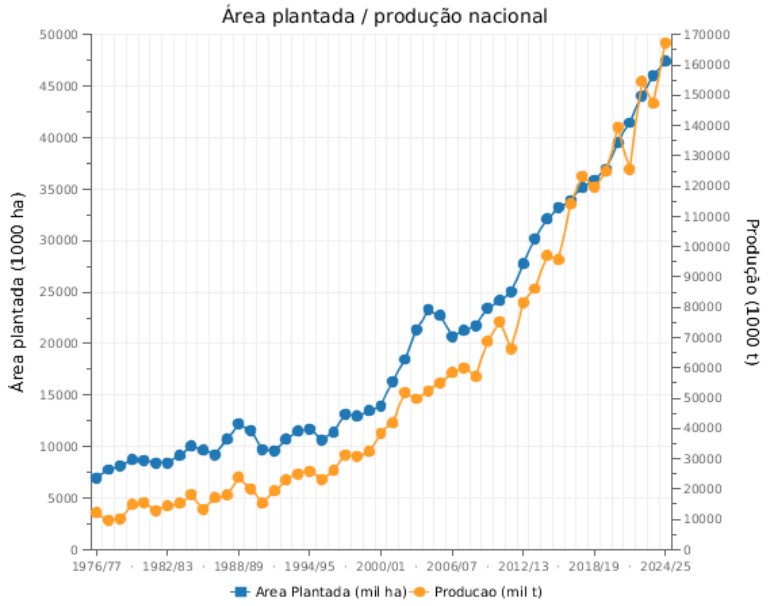
1.1 CONTEXTO HISTÓRICO DO CRÉDITO RURAL NO BRASIL

O Brasil é um país historicamente exportador de bens primários e com uma base exportadora pouco diversificada, tendo seus grandes ciclos econômicos compostos de monoculturas, como o da cana-de-açúcar, do algodão, do café e, recentemente, o da soja, sendo este um dos principais geradores de divisas e, ademais, um instrumento de projeção internacional. Atualmente, é perceptível que a sojicultura tem, portanto, um papel inexoravelmente importante na economia brasileira, com uma participação de 18% na produção total do agronegócio e 3,9% no PIB geral, em 2024, segundo o Centro de Estudos

Avançados em Economia Aplicada (CEPEA)[1], além de ser responsável pela produção de aproximadamente 32% da produção mundial do grão (FAOSTAT 2024). Quanto às exportações, a presença desse produto é ainda mais expressiva, segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA)[2] em 2024, 48,9% do total das exportações brasileiras foram provenientes do agronegócio, sendo dois terços compostos pela soja, segundo a APROSOJA (Associação Brasileira dos Produtores de Soja) Brasil.

Logo, de uma perspectiva econômica, fica evidente a importância do agronegócio para o posicionamento brasileiro no mercado internacional, mais especificamente da soja, que hoje é o principal produto agrícola do país, colocando o Brasil na posição de maior produtor mundial da leguminosa, segundo a Agência Brasil (2024). Tal cenário é destacado ao analisar a produção da cultura por entre os anos, ilustrado pelo gráfico da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) abaixo.

Figura 1 - Evolução da produção, área e produtividade da cultura de soja no Brasil, entre as safras de 1976/77 e 2024/25



Fonte: Conab (2025)

Contudo, é importante ressaltar que alguns fatores exógenos à produção em si, tiveram um impacto direto no soerguimento constante e acelerado na relação área plantada/produção nacional, que estão diretamente ligados, tal como ilustra a figura 1. Os principais fatores para tal acontecimento, está, em sua gênese, na Lei Nº 4.829, de 5 de novembro de 1965, conhecida

[1] "O Cepea calcula em parceria com a Abiove (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais) o PIB e o emprego da cadeia da soja e do biodiesel." (CEPEA, 2024).
[2] "Exportações do agronegócio ultrapassam US$153 bilhões no acumulado de 2024" (MAPA, 2024).

como “Lei do Crédito Rural”, e a Lei N° 9.456, de 25 de abril de 1997, conhecida como “Lei das Cultivares”. Tais legislações não só mostram a inclinação do governo brasileiro para com suas matrizes exportadoras e de produção, como um alinhamento de políticas internacionais no setor agrário brasileiro.

A lei que institucionaliza o crédito rural, tem seu início em 1965, porém seus precedentes surgem após a crise de 1929 e a revolução de 1930[3] no Brasil com a criação da Carteira de Crédito Agrícola e Industrial (CREAI), em 1935, viabilizada pelo Banco do Brasil, revelando a ruptura com o velho regime, ampliando a base exportadora do país, na época baseada principalmente no café. Apesar de não exclusivo para o setor agropecuário, o programa tinha até 1969 uma repartição maior para o setor, como argumenta Da Silva e Cezar (2022), sendo a “mais importante instituição de fomento à produção do Brasil até a criação do BNDE, em 1952”.

Então, em meio a um ímpeto fervente de crescimento e modernização do agronegócio, idealizado por José Américo de Almeida, então ministro de Estado da Agricultura, o Conselho Nacional de Administração dos Empréstimos Rurais (CNAER) teve sua gênese, e segundo Assis (2012), ‘‘O conselho foi instituído com o objetivo de orientar, dirigir e fiscalizar a aplicação de empréstimos agropastoris previstos em leis antecessoras como a Lei 454/372[4] de e a Lei 2.145/533[5]’’. Logo, o conselho se posiciona como um precursor de uma rede de instituições que viriam a fornecer crédito rural no Brasil, concomitantemente a um movimento de modernização no campo, tanto na perspectiva produtiva, como no tocante à sustentabilidade que viria a ganhar destaque nos anos seguintes.

Contudo, com a mudança do sistema financeiro em 1964, sendo instituído o Sistema Financeiro Nacional (SFN) por meio da Lei nº 4.595[6], e o Banco Central do Brasil (BCB) em sua estrutura, o programa de redescontos amplamente utilizado pelo Banco do Brasil na CREAI foi delegado para a recém criada instituição monetária, findando sua principal fonte de financiamento. Assim, é possível entrever nos meados do ano de 1964, um ponto de inflexão

[3] “Movimento armado iniciado no dia 3 de outubro de 1930, sob a liderança civil de Getúlio Vargas e sob a chefia militar do tenente-coronel Pedro Aurélio de Góis Monteiro, com o objetivo imediato de derrubar o governo de Washington Luís e impedir a posse de Júlio Prestes” (Brandi e Fausto, 2019).

[4] “Autoriza o Tesouro Nacional a subscrever novas ações do Banco do Brasil, até a importância de 100.000:000$000, e a emitir “bônus” para financiamento da agricultura, criação e outras indústrias.” (Brasil, 1937).

[5] “Cria a Carteira de Comércio Exterior. Dispõe sobre o Intercâmbio Comercial com o Exterior, e dá outras providências.” (Brasil, 1953).

[6] “Dispõe sobre a Política e as Instituições Monetárias, Bancárias e Creditícias, Cria o Conselho Monetário Nacional e dá outras providências.” (Brasil, 1964).

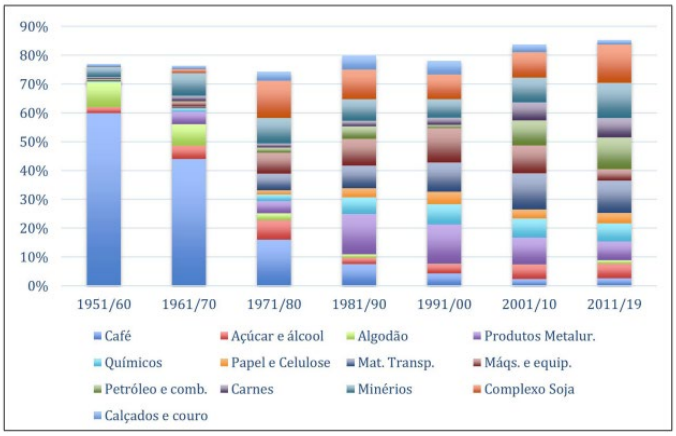
nos rumos do crédito rural no Brasil, e consigo, iniciativas de modernização e desenvolvimento do agronegócio. Já em 14 de julho de 1964, pouco mais de 2 meses após a instauração da ditadura militar no país, nasce a Coordenação Nacional de Crédito Rural (CNCR) e o e o Fundo Nacional de Refinanciamento Rural[7], que precederam as iniciativas instituídas no ano seguinte, por meio da Lei de Crédito Rural e o Sistema Nacional de Crédito Rural ainda vigorantes na atualidade.

Depreende-se, portanto, da celeridade destas iniciativas, que o governo militar já vislumbrava preteritamente a modernização do agronegócio dentro dos planos de crescimento econômico que iriam ficar conhecidos como "milagre econômico" (1968-1973). Contudo, nem todos os agricultores foram beneficiados com as medidas de incentivo, tendo médios e principalmente grandes produtores, com maior destinação de recursos, uma vez que estes possuíam maior probabilidade de retorno financeiro, e dispunham das ferramentas necessárias para expansão territorial e modernização dos meios de produção, visando o aumento das exportações. Portanto, no contexto em que foram criadas, tais iniciativas não podem ser confundidas com medidas de caráter social como é propagado atualmente, mas sim, iniciativas puramente econômicas, vide os levantes sociais que foram surgindo a partir das ligas camponesas, em que desde sua criação em 1945, até os dias atuais, reivindicam seus direitos como trabalhadores rurais e pequenos proprietários, até pautando o debate da reforma agrária no Brasil.

Logo, os programas de crédito rural no governo militar (1964 - 1985) tinham seu lugar de destaque dentro do breve sucesso do "milagre econômico"[8], onde a matriz exportadora brasileira se diversificou de maneira célere, e a modernização do campo, integrando o Brasil na chamada "Revolução Verde[9]", teve um papel fundamental para o aumento das exportações e desenvolvimento da agroindústria.

Figura 2 - Principais Mercadorias Exportadas pelo Brasil em % do Valor Total Exportado (1951 a 2019)

[7] "Cria a Coordenação Nacional de Crédito Rural - CNCR - e o Fundo Nacional de Refinanciamento Rural e dá outras providências." (Brasil 1964).
[8] "O milagre econômico brasileiro refere-se a um período de rápido crescimento econômico que ocorreu no Brasil durante a década de 1970, especificamente entre 1968 e 1973." (Campos, 2025).
[9] "A Revolução Verde tratou-se de um conjunto de inovações tecnológicas que permearam o setor primário da economia (agricultura e pecuária) a fim de melhorar tais atividades." (Matias, 2025).

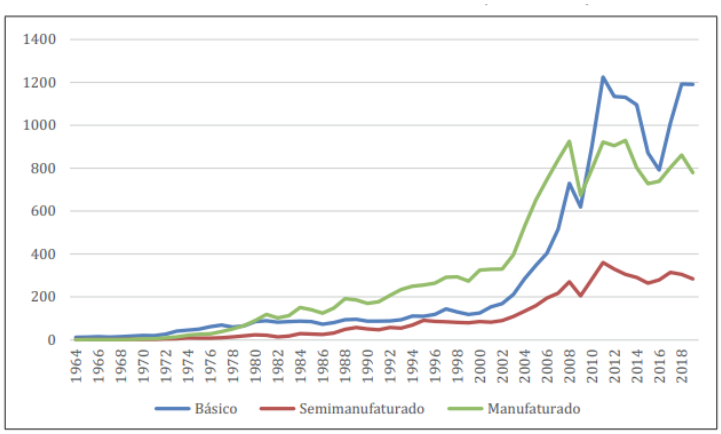


Fonte: Lopes, 2020

A partir da figura 2, fica perceptível a veloz diversificação da matriz exportadora brasileira por entre os anos, com seu prelúdio entre 1961 e 1970, se agudizando durante as próximas décadas. Portanto, a partir do período 1961/1970, tal como ilustra a figura, produtos metalúrgicos e materiais de transporte, são inseridos na matriz exportadora brasileira, ficando ainda mais evidente no período 1971/1980, porém sua inserção, mesmo no ápice da diversificação em 2011/2019, ainda representa uma minoria quando comparado a agroindústria e matérias-primas, o que segundo Lopes (2020) , representou o período em que o país exportou mais manufaturados antes da reprimarização[10]. Logo, apesar de uma forte diversificação, grande parte da matriz permanece no balaio dos produtos primários, em sua grande parte vindos do campo, evidenciando os resultados trazidos pelas políticas de incentivo que emergiram no governo militar. Tal cenário pode ser visualizado na figura 3, onde apesar do crescimento nas exportações de manufaturados e semimanufaturados, os mesmos não substituem as exportações de produtos básicos, crescendo em paralelo com os demais.

Figura 3 - Evolução das exportações brasileiras em número absoluto - bilhões de dólares constantes (1964 a 2019)

[10] "As exportações passaram a ser majoritariamente compostas por produtos primários de menor valor agregado e menor rentabilidade, caracterizando um movimento comumente denominado de reprimarização das exportações." (Lopes,2020)



Fonte: Lopes, 2020

Seguindo adiante, como citado anteriormente, a Lei de Crédito Rural (LRC) e o Sistema Nacional de Crédito Rural (SNRC), tiveram um papel substancial dentro da história do crédito rural no Brasil, tanto que de 1970 para 1975, os investimentos partiram de 49 para 181 bilhões, em valores de 2016, segundo (Banco Central do Brasil apud Sousa et al., 2020), um salto que o Brasil nunca havia visto. O SNRC foi criado em um contexto de surgimento dos Complexos Agroindustriais (CAIs)[11], que compreende o campo como um polo industrial, o que contribuiu para a integração do sistema financeiro no setor. Como também explorado por Dornelas (2020), a agroindústria difere de outros ramos financiáveis, uma vez que estão muito mais vulneráveis a fatores naturais que, para além de previsíveis até certo ponto, gozam de um certo grau de aleatoriedade, fenômeno catalisado pelas mudanças climáticas.

Logo, as estruturas estatais foram as únicas que poderiam se valer do luxo de desbravar o processo de financiamento dentro de um setor onde o capital necessita de um investimento multi-setoriais com prazo estendido para que dessem lucro, tendo em vista que quando o sistema de crédito foi concebido, o Brasil não tinha o mercado consumidor que tem hoje com a China, por exemplo. Tal como argumenta Lima e Ferreira (2016 p.56), com base na obra de Mazzucato, “o papel do Estado não é só criar as bases para o processo, mas criar o mercado e assumir o risco”, perspectiva que se encaixa no setor do agronegócio, onde foi criado um ecossistema favorável para seu florescimento no mercado internacional.

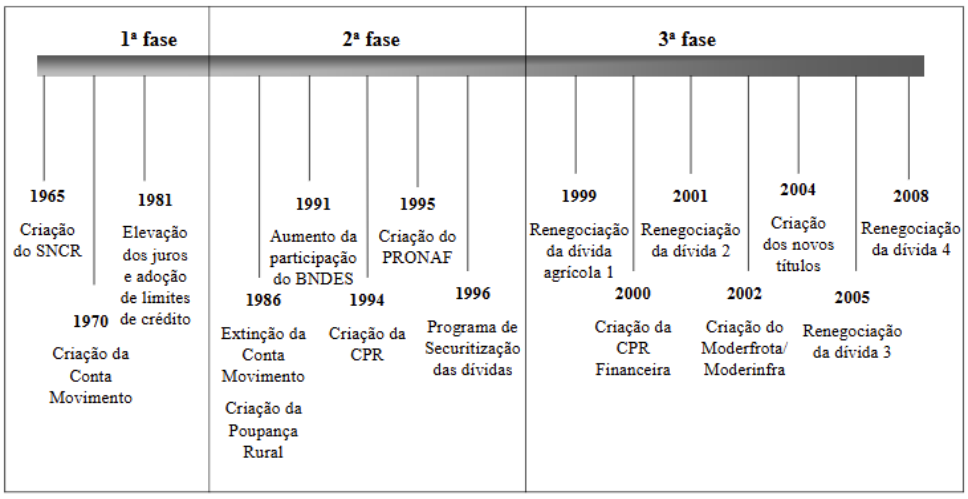
> Delgado (1985) aponta que, a partir de 1965, três inovações foram introduzidas no sistema de incentivos da política econômica e da política monetária brasileira, constituindo peças chaves de incentivo à agropecuária. Em primeiro lugar, instituiu-se um sistema de subsídios creditícios à modernização da agropecuária e uma forma particular de financiamento desse sistema, com a institucionalização e operação do SNCR. Em segundo lugar, adotaram-se medidas de subsídio às exportações, sob a

[11] Um Complexo Agroindustrial (CAI) é a integração de atividades agrícolas e industriais, desde a produção de insumos até a distribuição de produtos (Palencia,2016).

> forma de isenções, créditos fiscais e taxas de juros favorecidas ao setor exportador. E, por fim, abandonou-se o regime de taxas de câmbio fixo, e, em seu lugar, adotou-se o sistema de minidesvalorizações, o que contribuiu para a diversificação da pauta exportadora brasileira, que passou a contar produtos oriundos dos CAIs, agroindustrializados (Dornelas, 2020, p. 29).

Então, fica evidente que a transição do sistema monetário, por meio do princípio da separação adotado pelo BCB, teve um impacto positivo na criação desse ecossistema, sendo importante, inclusive, para perpetuação do crédito rural, que vigora até os dias de hoje. No entanto, desde os anos 60, algumas mudanças são notáveis no sistema, tal como estudado por Almeida e Zylbersztajnj (2008), que divide os principais marcos institucionais do sistema de crédito agrícola no Brasil a partir da criação do SNCR, sendo separados em 3 fases principais, que se iniciam com uma forte intervenção estatal e períodos, inclusive, de juros negativos, devido ao processo inflacionário, passando pela segunda fase com a diversificação dos contratos de crédito, incluindo a introdução de novas modalidades como a Cédula de Produto Rural (CPR)[12], e o aumento da participação privada na concessão desses créditos, findando na terceira fase, com instrumentos financeiros ainda mais sofisticados e programas de renegociação de dívidas.

Figura 4 - Fases do crédito rural no Brasil



Fonte: Almeida e Zylbersztajnj, 2008.

[12] "Em 1994, foi criada a Cédula do Produto Rural (CPR) que permitia a venda antecipada de parte da produção agrícola. [...] o lançamento da Cédula do Produto Rural (CPR) dava continuidade ao processo de introdução de novos instrumentos que garantem o fluxo privado de recursos para o financiamento agrícola em resposta à redução dos recursos públicos." (Almeida e Zylbersztajnj, 2008).

Durante esse período, houveram muitas oscilações e direcionamentos quanto a quantidade de recursos empenhados e quanto a participação do Estado nesse processo. Um intervalo chave nesse entendimento é a retração de 1979 a 1984, onde o crédito saiu de 210 bilhões para 77 bilhões, e a retração de 1986, saindo de 165 bilhoes para 48 bilhões em 1990, em valores de 2016 segundo (Banco Central do Brasil apud Sousa et al., 2020). O primeiro intervalo foi marcado pela maior entrada de agentes privados na concessão de crédito, uma vez que a prioridade do Estado estava no combate à crise fiscal, onde houve a extinção da conta movimento do Banco do Brasil em 1986, e uma orientação de políticas contracionistas, que refletiram no enrijecimento da oferta do crédito, com a taxa Selic[13] chegando a 328,42% no final de 1984, segundo Ipeadata (2025). O segundo intervalo reflete a continuação dessas políticas fiscais, voltando-se mais proeminentemente para o controle inflacionário, com a inflação acumulada de 1.476,56% em 1990 segundo IBGE (2025), com juros passando de 1000% em algumas ocasiões, refletindo logicamente nos programas de crédito rural, sendo impactados também pelos planos de estabilização econômica[14] pós regime.

Portanto, apesar da ditadura militar ter iniciado o processo de modernização e fortificação da agroindústria, tem também sua parcela de responsabilidade pelas piores fases do fornecimento de crédito ao campo. Outra herança desse sombrio período entre (1964-1985), recai sobre o acesso aos programas de crédito rural, já que os pequenos produtores começaram a participar mais dessas iniciativas somente a partir de 1996, com a criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) “cujo intuito foi financiar, a taxas diferenciadas de juros, as atividades agropecuárias e não agropecuárias exploradas pelo produtor rural e sua família” (Almeida e Zylbersztajnj, 2008, p. 273). Posteriormente, após a redemocratização, mais iniciativas foram estabelecidas para beneficiar o pequeno e o médio produtor, como o Proger Rural (Programa de Geração de Emprego e Renda Rural), Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), e o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) reformulado, além do Pronamp (Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural).

A partir das análises anteriores, portanto, destaca-se um desbravamento dos investimentos no agronegócio por parte do Estado a partir de 1964, e a inserção dos mecanismos financeiros e entidades privadas por volta dos anos 70, impulsionando o mercado

[13] “A taxa Selic é a taxa básica de juros da economia, que influencia outras taxas de juros do país” (BCB, 2025)
[14] O Plano Cruzado (1986) congelou preços e salários para combater a hiperinflação, mas fracassou devido à falta de controle fiscal. O Plano Verão (1989) criou uma nova moeda (Cruzado Novo) e também tentou conter a inflação via congelamentos, mas sem sucesso duradouro. Já o Plano Collor (1990) confiscou parte da poupança da população e reduziu a liquidez, buscando estabilização imediata, mas gerou forte recessão e impopularidade.

de crédito rural no Brasil, e consequentemente a expansão do agronegócio como um todo, com destaque para a soja, onde títulos de crédito passaram a competir com títulos financeiros.

1.2 A INFLUÊNCIA DO MERCADO FINANCEIRO NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

A participação financeira dentro do mercado de *commodities* está tecida dentro da economia internacional nos dias de hoje, estando diretamente ligada com a evolução nos mercados de crédito e financiamento, incluindo novos atores fisicamente distantes do processo produtivo, mas que detém parte dele. Então, Gerald Epstein, é um ator chave para compreender o processo em que o mercado financeiro ganha essa "importância" dentro da economia moderna, e que muitas vezes influencia as políticas de controle de inflação dentro dos bancos centrais (Epstein, 2001) — caso evidenciado no Brasil, com o sistema de metas de inflação — . Por conseguinte, para compreender o fenômeno de entrada de títulos financeiros dentro da economia agrária, é importante delimitar o que é o mercado financeiro *per se*.

Finanças, segundo *Science Direct* (2015), é o "estudo de alocação de recursos ao longo do tempo" (tradução própria), ou seja, depreende-se deste significado, que o mercado financeiro é o local onde os recursos alocados podem ser operados, recursos esses que só fazem sentido serem comprados, vendidos ou alugados, quando estão em formato de instrumentos financeiros[15]. Então, o fenômeno de "financeirização do agronegócio", se dá pela transformação de títulos e ativos de crédito, utilizados para investimento e aumento da capacidade produtiva no campo em títulos e ativos financeiros, que são negociados no mercado de uma forma muito mais complexa, uma vez que aqueles instrumentos financeiros tem a capacidade de serem negociados por diversas vezes sem o intermédio do emissor, além de gozar de uma valorização ou depreciação própria baseados na especulação, sem necessariamente depender dos resultados produtivos. "*Financialization refers to the increasing importance of financial markets, financial motives, financial institutions, and financial elites in the operation of the economy and its governing institutions, both at the national and international level*" (Epstein 2001, p.1).

No caso latino-americano, é importante ressaltar que este processo tem gênese em meio às políticas austeras propostas pelo FMI (Fundo Monetário Internacional), referenciadas pelo Consenso de Washington[16], que motivaram uma participação mais tímida do Estado no investimento setorial, o

[15] "Instrumento financeiro é qualquer contrato que dê origem a um ativo financeiro para a entidade e a um passivo financeiro ou instrumento patrimonial para outra entidade." (CVM, 2009).

[16] O Consenso de Washington, criado no final dos anos 1980, é um conjunto de políticas econômicas focadas em estabilidade fiscal, liberalização do comércio, privatizações e reformas estruturais para promover crescimento em países em desenvolvimento, especialmente na América Latina (Williamson, 1990).

que abriu maior margem para a inserção do mercado financeiro nos momentos finais da ditadura militar. Portanto, o fenômeno da financeirização há de se adentrar efetivamente no agronegócio brasileiro a partir da década de 1990, com a criação da CPR em 1994, por meio da Lei 8.929/94[17], que diferente de outros programas de crédito, podia ser negociada e circular livremente no mercado. Além da cédula, a negociação de derivativos agrícolas na BM&F[18] (atual B3) começava a florescer, sendo os principais abaixo listados

- Contrato Futuro de Base de Preço de Milho (CTM, COP, CRV e CPG);
- Contrato Futuro de Milho Financeiro (CCM);
- Contrato Futuro de Açúcar (ISU);
- Contrato Futuro de Etanol (ETN);
- Contrato Futuro de Soja Financeira (SFI);
- Contrato Futuro de Soja (SOJ);
- Contrato Futuro de Boi Gordo (BGI);
- Contrato Futuro de Café Arábica (ICF).

(fonte: BM&F)

No caso da soja em específico, devido a sua volatilidade de preço e a influência do comércio internacional, segundo o estudo de Mendes e Padilha (2008), o comportamento dos produtores da leguminosa tinha uma forte atração para o *hedge*[19] por contratos futuros, permitindo que eles vendam um contrato de venda pré-safra na BM&F, se protegendo de oscilações de câmbio, demanda e condições climáticas desfavoráveis, estratégia essa utilizada até os dias de hoje por meio de uma variedade muito maior de instrumentos financeiros. Esses ativos de soja tiveram uma liquidez bem sucedida dentro da bolsa, o que abriu margem para que o número de investidores fosse crescendo cada vez mais, assim como a própria produção de soja. Pode-se dizer que a CPR e os derivativos negociados na BM&F, foram um marco que possibilitou a expansão e a consolidação dos ativos agrícolas no Brasil, no entanto, já haviam movimentações de *hedge* com a soja brasileira sendo feitas por meio da *Chicago Board of Trade* (CBOT), que é uma bolsa de futuros e opções que, segundo a CONAB, dita o preço da soja internacionalmente.

[17] "Institui a Cédula de Produto Rural, e dá outras providências." (Brasil, 1994).
[18] A BM&F (Bolsa Mercantil e de Futuros) se une à Bolsa de Mercadorias de São Paulo (BMSP), em seguida à Bolsa Brasileira de Futuros (BBF) e muda seu nome para Bolsa de Mercadorias e Futuros, mantendo a sigla BM&F. Em 2008 os acionistas da BOVESPA e da BM&F aprovam a fusão das duas empresas, gerando a BM&FBOVESPA, atual B3. (MUB3, 2025).
[19] Estratégia usada para proteger um ativo de oscilações financeiras.

Esse processo abriu as portas para grandes empresas multinacionais, como arguido por Goldfarb (2015), realizavam a venda de contratos futuros de soja na CBOT, sendo a intermediadora do processo de *hedge.* Com isso, muitas *trading companies*[20] no Brasil realizavam este tipo de operação, onde o produtor é só a ponta do processo, já que acionistas comercializam o instrumento financeiro intermediado por uma empresa dentro do mercado internacional antes mesmo da germinação da semente. Quanto ao acesso, em um Brasil interiorizado, pequenos e médios produtores não faziam este tipo de operação com vistas ao mercado financeiro, uma vez que necessitavam de um capital de margem, que é a "garantia" de operação no mercado futuro. No entanto, quando os pequenos e médios produtores vendem seus grãos para cooperativas ou *trading companies,* os mesmos estão fazendo *hedge* e operando na bolsa indiretamente. Com isso, segundo o levantamento da Radar Argtech, "O número de startups financeiras voltadas ao agronegócio cresceu 14% em 2024" no Brasil, revelando a expansão deste modelo de negócio que, com advento do desenvolvimento tecnológico e de mecanismos financeiros sofisticados, tende a crescer ainda mais nos próximos anos.

1.3 A COMPOSIÇÃO DOS PLANOS SAFRA

Após a virada do século, motivada pela intensa demanda internacional no mercado de commodities, a continuidade da evolução não só na sofisticação dos instrumentos financeiros, como Fundo de Investimento no Agronegócio (Fiagros), Certificados de Recebíveis do Agronegócio (CRA), *fintechs* rurais, e até *blockchain* de commodities agrícolas, mas como do próprio crédito rural, se materializando nos Planos Safra.

> O novo Plano Safra 2024/2025 tem ainda mais recursos para impulsionar o setor agropecuário brasileiro. São linhas de crédito, incentivos e políticas agrícolas para os produtores rurais. Para a agricultura empresarial (médios e grandes produtores), serão R$ 400,59 bilhões destinados para o crédito rural para produtores enquadrados no Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (Pronamp) e demais, valor 10% superior ao do que foi aplicado no Plano Safra anterior. (MAPA, 2024, s.p).

Todavia, o Plano Safra 2024/2025 não se limita a títulos de crédito, mas está simbioticamente ligado aos títulos financeiros, já que além dos 400,59 bilhões destinados em crédito, 108 bilhões adicionais estarão em forma de Letras de Crédito Rural (LCA) e CPR 's, totalizando 508,59 bilhões. O que é conhecido atualmente como "Plano Safra", começou a ser divulgado pelo MAPA como "Plano Agrícola e Pecuário 1990 - 1991" mudando este nome

[20] Empresa que realiza a intermediação entre transações internacionais, no caso exemplificado, é quem lança o contrato futuro de soja na bolsa.

somente em 2021 com o “Plano Safra 2021 - 2022”, que basicamente dá continuidade aos incentivos à produção agrária no Brasil, porém com algumas diferenças.

Tabela 1 - Comparação entre Programas de Crédito Rural no Brasil até 1985 e os Planos Safra

Aspecto	Programas de crédito até 1985	Planos Safra (Atuais)
Público-alvo	Principalmente grandes produtores e agroindústrias	Agricultura familiar, médios e grandes produtores
Acesso dos pequenos produtores	Muito limitado	Pronaf garante acesso para pequenos e familiares
Sustentabilidade ambiental	Praticamente inexistente	Linhas de crédito voltadas à produção sustentável
Diversidade de linhas de crédito	Poucas opções (foco em custeio e investimento)	Diversificadas: custeio, investimento, comercialização etc.
Seguro rural	Inexistente ou muito limitado	PSR, Proagro e Garantia-Safra
Incentivo à inovação	Baixo	Linhas específicas para inovação tecnológica no campo
Gestão governamental	Centralizada, com foco político-econômico do regime	Mais descentralizada, com participação de entidades privadas

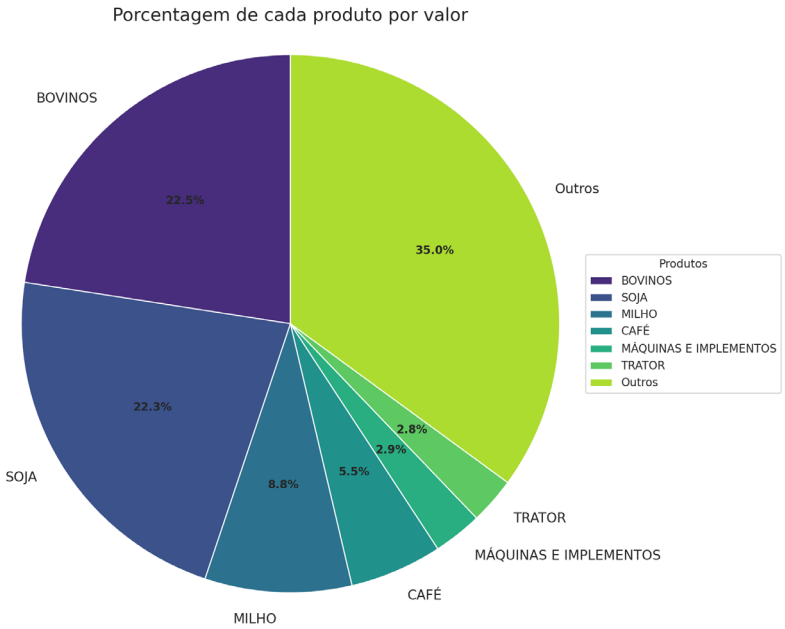
Fonte: Elaborado pelo autor com base em (MAPA, 2025)

Com os planos safra, a participação dos pequenos e médios produtores, passaram a compor uma maioria considerável da quantidade contratos, no entanto eles ainda compõem a minoria da destinação de recursos, no Plano Safra 2024/2025 por exemplo, a destinação de crédito exclusivo para esse público (Pronamp e Pronaf) soma somente 35,26%. Este número, resulta da análise dos valores concedidos para cada subcategoria de beneficiário do plano safra, sendo basicamente Pronaf, Pronamp, e demais produtores, onde se inserem cooperativas e grandes produtores. No caso do plano de 2024/2025, foram 65,23 bilhões para o “Pronamp e Controlados”, e 335,36 bilhões para “Demais produtores e cooperativas”, com o total de 400,59 bilhões, segundo o folder oficial, com R$ 76 bilhões exclusivos para o Pronaf.

Isto se dá não só pelo fato do Brasil hoje ser o maior produtor de soja mundial, logicamente exigindo uma quantidade maior de recursos, mas durante a época de expansão da

produção da leguminosa, a expansão da fronteira agrícola de soja para exportação demanda uma quantidade maior de recursos do que para produção familiar ou comercialização interna. Tal cenário é estudado por Maluf e Flexor (2017), que analisam as destinações de crédito rural entre 1999 a 2012, onde o valor parte de 1,2 bilhão para R$ 18,9 bilhões — em valores de 2017. Logo, ao comparar com as destinações de 2024, enxerga-se quase ¼ do crédito indo para produção de soja, tal como ilustra a figura abaixo:

Figura 5 - Valor de crédito rural concedido em 2024 por produto



Fonte: Elaborado pelo autor com base em (Banco Central do Brasil, 2025)

Portanto, prova-se por meio da análise dos dados de expansão da área cultivada de soja na figura 1, e participação no total de crédito concedido na figura 5 e no estudo de Maluf e Flexor (2017), além da compreensão da quantidade de recursos presentes no programa Plano Safra 2024/2025, que a oferta de crédito, além dos instrumentos financeiros discutidos outrora, não podem ser descartados ao discutir o posicionamento brasileiro no agronegócio e no mercado de Soja de mundial. Porém, para uma agnição global do entendimento do panorama de sojicultura no Brasil, e sua relação com a sustentabilidade, requer uma análise do processo de expansão da fronteira agrícola por entre os biomas nacionais.

2. IMPLICAÇÕES DA EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA

2.1 O FENÔMENO DE EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA DA SOJA

Para investigar a relação entre o modelo comercial de soja do Brasil com a sustentabilidade, é importante que se compreenda o termo "fronteira agrícola", Pena (2025) "é uma expressão utilizada para designar o avanço da produção agropecuária sobre o meio natural", logo sua expansão compreende o alongamento da área cultivada para outros locais, onde não havia a produção de determinado produto agrícola posteriormente. No caso da soja, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), ela começou a ser relevante economicamente no contexto brasileiro somente no final da década de 1960, como uma possibilidade de cultura de verão no sul do país, em sucessão ao trigo, e com o aumento do valor da leguminosa no mercado internacional, por volta de 1970, o Brasil enxergou uma possibilidade de se tornar um forte competidor na exportação do produto. A atuação da Embrapa foi essencial neste processo, uma vez que as cultivares[21] utilizadas antes da década de 1980 eram provindas dos Estados Unidos, encarecendo o processo produtivo, e não compreendendo as particularidades fotoperiódicas[22] e climáticas brasileiras, com um índice de produtividade menor e possivelmente mais lento, conferindo então à empresa o papel fundamental no desenvolvimento de cultivares nacionais adaptadas, "A Embrapa Soja teve participação ativa nessa evolução, tanto que em 50 anos a instituição desenvolveu cerca de 440 cultivares de soja" (Brasil, 2025).

> Os investimentos em pesquisa levaram à "tropicalização" da soja, permitindo, pela primeira vez na história, que o grão fosse plantado com sucesso, em regiões de baixas latitudes, entre o trópico de capricórnio e a linha do equador. Essa conquista dos cientistas brasileiros revolucionou a história mundial da soja e seu impacto começou a ser notado pelo mercado a partir do final da década de 80 e mais notoriamente na década de 90, quando os preços do grão começaram a cair (Embrapa, 2025, s.p).

Com a evolução das pesquisas de cultivares adaptadas edafoclimaticamente[23], e das variações fotoperiódicas, a chamada "tropicalização" da soja, refere-se à expansão da fronteira agrícola da leguminosa do sul para a região centro-oeste brasileira. Esta expansão foi surpreendentemente bem sucedida, uma vez que em 1980, apenas 20% da soja brasileira era produzida no cerrado (região tropical), e 10 anos depois essa produção já superava os 40%,

---

[21] "Cultivar" é a variedade ou tipo de planta que foi selecionada e cultivada por suas características desejáveis, como produtividade ou resistência a doenças.

[22] "A sensibilidade da soja ao fotoperíodo é controlada geneticamente, sendo a resposta da planta de soja ao estímulo do fotoperíodo fundamental para a adaptação das cultivares a diferentes latitudes, dada a variação do comprimento do dia em função da latitude." (Embrapa, 2018)

[23] Adaptação às condições de solo (edáficas) e clima (climáticas) do local.

segundo a Embrapa (2018). Dentre os principais motivos da escolha da região centro-oeste para expansão da produção, estão a aptidão agrícola e o valor das terras.

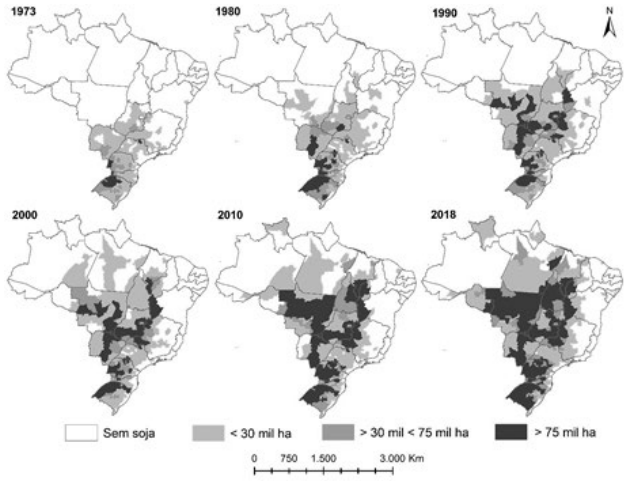
Segundo Bernardo Rudolf (Filho e Costa, p.26, 2016), "o Cerrado tem o maior acervo de terras com aptidão agrícola do País", onde a grande disponibilidade de terras desocupadas, relevo favorável ao uso de maquinário agrícola, presença de aquíferos e disponibilidade hídrica, seguidos de apoio governamental, fizeram da região ideal para a expansão. Logicamente havia alguns entraves, como a acidez do solo devido a alta presença de alumínio, e a baixa quantidade de nutrientes, porém isso foi corrigido com técnicas relativamente simples, como a calagem[24], adubação e aplicação de gesso[25] por exemplo, deixando o solo pronto para o plantio. Além disso, como abordado preteritamente, pesquisas conduzidas pela Embrapa já vinham desenvolvendo cultivares que poderiam entregar uma alta produtividade adaptadas àquela latitude.

Além da aptidão agrícola, os grandes produtores que subiram para o cerrado, encontraram terras muito mais baratas do que nas regiões Norte, Sul e Sudeste. Segundo *Agroanalysis* (2014), as terras do centro-oeste entre 2002 e 2013 — quando a soja já tinha uma presença muito grande na região (48%) (Souza, 2011) — houve um aumento de 329,60% no valor, a maior variação entre todas as regiões, ou seja, foi a região em que as terras mais valorizaram no Brasil nesse período. Logo, esse processo resulta no posicionamento do centro-oeste, como a região que mais produz soja no país, com o estado do Mato Grosso liderando o ranking (Conab, 2025), evidenciando então, o sucesso da expansão da soja, tal como mostra a figura a seguir:

Figura 6 - Mapas da fronteira agrícola da soja no Brasil

[24] A calagem consiste na aplicação de materiais alcalinos, como o calcário, no solo com o objetivo de corrigir sua acidez. No caso do cerrado, reduz a toxicidade de elementos como o alumínio e favorece o desenvolvimento das raízes, contribuindo para o aumento da produtividade agrícola.

[25] A aplicação de gesso no solo é usada para corrigir a acidez em camadas mais profundas, geralmente usado em conjunto com o calcário.



Fonte: Wesz Junior et al. (2021)

Outro ponto indispensável na análise da expansão produtiva da soja é a Lei 9.456 de 25 de abril de 1997, conhecida como "lei das cultivares", que considera a cultivar um bem móvel para todos os efeitos legais, lhe conferindo proteção de direitos à propriedade intelectual. Tal medida, incentivou a entrada de empresas privadas na pesquisa e desenvolvimento de cultivares mais sofisticadas, trabalho antes desenvolvido primariamente pela Embrapa, o que ao garantir uma variabilidade maior desse produto no mercado, em um tempo mais acelerado, provendo amplo acesso á sementes mais produtivas e mais resistentes a pragas. Embora um mercado muito vantajoso, o investimento soergue, já que o produtor passa a pagar *royalties* pelo uso da semente geneticamente modificada, ainda assim, a alta taxa de germinação e o desempenho das mesmas justificam o investimento, especialmente em regiões que enfrentam condições climáticas adversas. A adoção de sementes com resistência ao glifosato, por exemplo, facilita o manejo de plantas daninhas e permite maior segurança na aplicação do herbicida, contribuindo para o sucesso da lavoura.

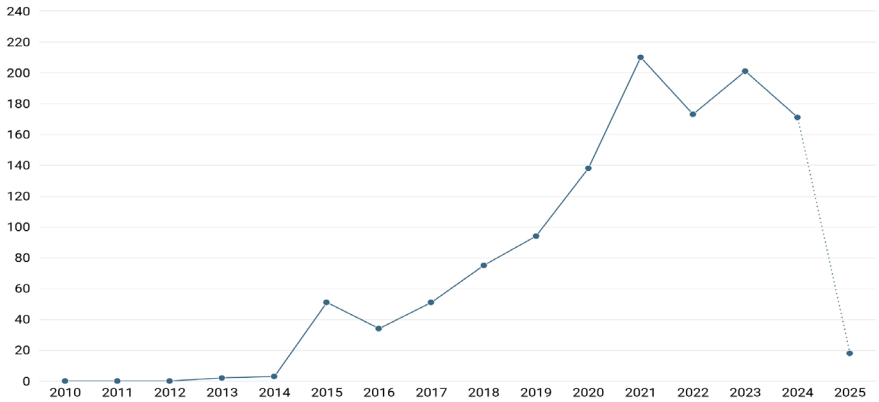
No entanto, a saga da leguminosa não para pelo cerrado, pelo contrário, apenas atinge sua 2ª fase de expansão. O relatório produzido pela Embrapa em 2018 denominado "A saga da soja De 1050 a.C. a 2050 d.C.", dá um panorama histórico desde os primeiros testes da implementação da soja no país, até perspectivas futuras para sua produção em território nacional, e com isso, divide o avanço comercial da soja em 4 fases principais.

> • **1ª fase**: expansão do cultivo na Região Sul durante as décadas de 1960 e 1970, quando a produção na região evoluiu de 202 mil (1960) para 8,9 Mt (1979).
> • **2ª fase:** expansão do cultivo na Região Centro Oeste durante as décadas de 1980 e 1990, quando a produção cresceu de 2,20Mt (1980), para 13,36 Mt (1999).
> • **3ª fase:** expansão da cultura para os estados da região denominada de MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) na primeira década do século XXI, período durante o qual a produção evoluiu de 681 mil t (2000), para 4,3 Mt (2011).

> • **4ª fase:** prosseguimento da expansão para novas áreas dos estados do Pará, Rondônia e Roraima, assim como áreas ainda por explorar do nordeste e sudoeste do estado do Mato Grosso convertendo-se, essa região, na mais nova fronteira agrícola para a produção de soja do Brasil.
> Fonte: (Embrapa, 2018, p.75)

Por conseguinte, devido a arrebatadora precisão com que o relatório foi feito, é possível analisar o avanço da produção de soja representado pela 3ª fase na região de MATOPIBA ocorrendo já em 2025, fato evidenciado também pelo aumento do número de publicações científicas com os termos "Soja" e "MATOPIBA" a partir de 2015, com seu auge em 2021 e 2023, período em que a região teve recordes históricos de desmatamento segundo IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia), desmatamento esse que garante ao local a aptidão agrícola necessária para a expansão da fronteira, ponto altamente discutido nos mesmos trabalhos acadêmicos.

Figura 7 - Número de artigos publicados com os termos "soja" e "MATOPIBA" entre 2010 - 2025



Fonte: Produção própria utilizando a ferramenta "Dimensions".

Logo, é chegada a última fase da expansão da fronteira agrícola da soja, com a expansão norte, chegando aos estados do Pará, Rondônia e Roraima, predominantemente do bioma amazônia. No entanto, não é possível relacionar esta expansão na Amazônia, sem contemplar atores do governo Bolsonaro (2019 - 2022), onde o então ministro de Estado do meio ambiente, Ricardo Salles, e governadores estaduais das respectivas localidades, com destaque para Roraima, foram protagonistas da facilitação desta expansão de forma mais acentuada. "As parcerias entre o governo federal, o governo estadual e as empresas do setor do agronegócio permitiram pôr em prática as reformas do Código Florestal (2012) e implementar uma política de regularização fundiária" (Eloy et al., 2023), neste estudo, os autores fazem uma análise das relações entre o afrouxamento das políticas ambientais e fundiárias do estado, permitindo um aumento da superfície da soja de 257 % entre 2018 e 2021 no estado.

Além das políticas, segundo (Eloy et al., 2023), de "desregulação e de re-regulação", no estado de Roraima durante o governo de Antônio Denarium[26], preocupantes declarações de Ricardo Salles, que sugerem evidentemente uma simplificação regulatória que beneficiaria a expansão da fronteira agrícola no bioma, e uma vista grossa à uma expansão desordenada, foram expressas ao povo brasileiro:

> Então pra isso precisa ter um esforço nosso aqui enquanto estamos nesse momento de tranquilidade no aspecto de cobertura de imprensa, porque só fala de covid, e ir passando a boiada e mudando todo o regramento e simplificando normas. De IPHAN, de ministério da Agricultura, de ministério de Meio Ambiente, de ministério disso, de ministério daquilo. Agora é hora de unir esforços pra dar de baciada a simplificação de regulatório que nós precisamos, em todos os aspectos. Ricardo Salles (2020) Fonte: (Poder360, 2020).

O contexto da referida fala, foi em uma reunião ministerial, em 22 de abril de 2020, durante a pandemia de Covid-19, onde ainda se citou medidas de simplificação do código florestal e da lei da mata atlântica. A fala, portanto, se concretizou em medidas também orçamentárias, onde o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), contou com uma redução de 14,8% de 2019 para 2020 segundo o portal da transparência, resultando em uma perda ainda maior de efetividade, em um orgão já subutilizado.

> Considerando a baixa capacidade de arrecadação das multas, a missão institucional do Ibama pode estar prejudicada uma vez que, seu poder sancionador perde parte considerável de sua efetividade, o que exige providências urgentes para que as cobranças administrativas sejam tempestivas e eficazes. Fonte: (SCHMITT, 2015, p.22)

Esta relação entre falta de políticas ambientais, subutilização de órgãos fiscalizadores, e o desmatamento, reflete o princípio de *Stimmigkeitskontrolle* (controle de sintonia fina), presente na doutrina alemã, que versa sobre a proporcionalidade de medidas, entendendo-se que as vantagens promovidas devem superar as desvantagens provocadas (Marques, 2010), cenário visto no Brasil no âmbito do desbalanço entre políticas de incentivo ao agronegócio e políticas de prevenção aos danos ambientais, ou até mesmo de fomento à sustentabilidade.

No entanto, apesar da evidente assimetria no período Bolsonaro (2019 - 2022), não se pode simplificar o fenômeno da expansão da sojicultura para o norte como um período isolado, mas sim como a evolução de um processo que já vinha se construindo no Brasil desde o período da ditadura militar, para atender a crescente demanda do mercado internacional, e pelo aproveitamento do Estado desta oportunidade para o crescimento econômico. Todavia, o evento específico da soja na amazônia, se difere da expansão para o cerrado, no que tange a

[26] Então governador de Roraima (RO)

complexidade das terras agricultáveis, uma vez que seria mais “fácil” essa expansão para a savana tropical brasileira (Filho e Costa, p.26, 2016).

Então, para uma expansão da produção de soja, na modalidade do plantio convencional de grandes áreas — quando não há um aproveitamento de áreas já desmatadas ou sistemas de agroflorestas — para uma região tal como a amazônica, necessariamente precisa passar por um processo de “limpeza” naquele terreno. Como resultado, há um consenso entre os especialistas que ao menos 12% da floresta amazônica tenha sido devastada, e que na área brasileira, este número chegaria a 20%, ou 500 mil quilômetros quadrados (CNN Brasil, 2023). Mesmo que a totalidade das áreas desmatadas não tenham sido utilizadas para produção de soja, este processo ocorre em concomitância com a 4ª fase do relatório Embrapa (2018), no entanto, existem saídas para uma expansão produtiva que não venha a agredir estes ecossistemas de forma tão brusca.

Como abordado anteriormente, além da questão das cultivares, adaptar uma cultura a um novo bioma não é uma tarefa simples, uma vez que o solo pode vir a necessitar de correção, onde no caso da Amazônia legal[27], somente 5% de seu solo é eutrófico, ou seja, naturalmente fértil (FAPEAM, 2012), sendo importante para os outros 95%, corrigir a acidez do solo, aplicar adubação e fertilizantes, e retirar resíduos de plantações anteriores. Então, identifica-se como maior problema da expansão da soja, não o aumento da produção em si, mas sua expansão territorial. Portanto, por mais que pareça que os dois conceitos estejam intrinsecamente conectados, a produção de soja por hectare pode desenvolver-se sem a necessidade da da expansão territorial, como abordado por (Marin et al., 2022), tendo como principal entrave para este processo, a implementação contínua de programas de pesquisa e desenvolvimento agropecuário, encarecendo e atenuando a produtividade crescente.

Ainda sim, antes de compreender quais medidas sustentáveis podem ser aplicadas ao modelo brasileiro de sojicultura, é necessário que se entenda as relações entre a expansão da soja, com os novos biomas em que estas estão inseridas, e determinar de forma prática, como as consequências climáticas, já afetam, e podem afetar esta produção no futuro.

[27] A Amazônia Legal é uma área que corresponde a 59% do território brasileiro e engloba a totalidade de oito estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins) e parte do Estado do Maranhão (a oeste do meridiano de 44ºW), perfazendo 5,0 milhões de km² (Ipea, 2008).

2.2 ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO PROCESSO PRODUTIVO SOJÍCOLA

A coletividade das ciências agrárias, principalmente no Brasil, participam de um processo de rápida e constante evolução, em que descobertas e inovações são velozmente transmitidas para as cadeias produtivas, e esses avanços estão inexoravelmente alinhados com o desenvolvimento sustentável e a preservação ambiental, vide o processo produtivo da soja, que mesmo distante de sua performance final, caminha numa direção verde. No entanto, é latente que o aspecto expansionista da fronteira agrícola de forma não controlada, apresenta-se como o maior desafio ambiental presente nesse processo. É evidente que a produção de soja *per se* — a partir da área de plantio já estabelecida — é decerto sustentável, que vem reduzindo cada vez mais o uso de agrotóxicos, e utiliza de mecanismos sofisticados para prolongar a vida útil do solo, porém sua falta de coexistência com os biomas brasileiros, em um processo de criação artificial de aptidão agrícola, em detrimento de um ecossistema crítico para a manutenção da biodiversidade e dos fluxos ecológicos essenciais à resiliência dos biomas brasileiros.

A expansão da soja no Brasil, especialmente nos últimos 40 anos, está diretamente associada ao avanço da biotecnologia, à adaptação de cultivares aos diferentes biomas e às políticas públicas de incentivo agrícola. Esta expansão, no entanto, também se beneficiou fortemente do uso de tecnologias emergentes que se adentraram no processo produtivo, tal como drones para aplicação localizada de defensivos, sistemas de telemetria para monitoramento em tempo real das máquinas e o acesso à internet por meio de soluções como o *Starlink*[28], transformaram o cotidiano das propriedades, trazendo mais eficiência quanto a gestão de materiais e precisão no processo agrário, consequentemente evitando desperdícios, reduzindo o uso de defensivos agrícolas, e contribuindo para uma produção com menor impacto ambiental.

Concomitantemente, a saga da soja da região sul para outras regiões do país é inexoravelmente fruto, conjuntamente, de um intenso processo de melhoramento genético conduzido por instituições como a Embrapa, que foram responsáveis por traçar um caminho sustentável para evolução destes processos produtivos. Nesse contexto de evolução científica e tecnológica, a sustentabilidade aparece como um eixo transversal que permeia todas as etapas do processo produtivo da soja.

[28] Serviço de internet por satélite que pode ser usado em áreas isoladas.

Práticas relativamente simples como o plantio direto, conhecido como *no till*[29], que consiste em semear sem o revolvimento do solo, são amplamente adotadas e contribuem para a conservação da matéria orgânica, da microbiota e da estrutura do solo — técnica amplamente utilizada na produção da soja —. Ainda sobre solos, há um esforço crescente na adoção de soluções biológicas, como o uso de microrganismos fixadores de nitrogênio solubilizadores de fosfato, que reduzem a dependência de fertilizantes sintéticos e promovem um manejo mais equilibrado dos nutrientes, além de colaborar com a construção de solos mais saudáveis e produtivos no Brasil. Algumas propriedades, inclusive, já desenvolvem biofábricas próprias para a produção desses insumos biológicos, demonstrando um avanço significativo no protagonismo do produtor na construção de sistemas mais resilientes.

> Atenta às demandas do campo, das indústrias e da sociedade, a Embrapa desenvolve diversas pesquisas relacionadas aos insumos biológicos. Essas pesquisas são estrategicamente orientadas pelo Portfólio de Bioinsumos, que engloba os temas controle biológico de pragas, promoção do crescimento de plantas e fitoquímicos. Os ativos gerados são a base para o desenvolvimento de bioinsumos e tecnologias. (Embrapa, 2025, s.p).

Quanto a utilização de agrotóxicos na cultura da soja, é de fato um tema que suscita preocupações ambientais e de saúde relevantes, no entanto, os impactos negativos ao meio ambiente estão relacionados, em grande medida, ao uso irresponsável desses produtos, uma vez que, no caso da soja, a relação kg de defensivo por hectare não se mostra de uma grandeza elevada. Segundo o estudo feito por Neto e Menten (2019), enquanto na soja é utilizado 6,31 kg de ingrediente ativo por hectare, hortícolas como tomate utilizam 46,87 kg, tendo batata e citros com uma dose também mais alta do que a soja, que, *per se*, não é amplamente consumida na dieta comum do brasileiro. Em consonância, mesmo a leguminosa não exigindo uma grande quantidade relativa de agroquímicos, desde a década de 1930, pesquisas têm buscado desenvolver moléculas com menor toxicidade e impacto ambiental, voltadas ao controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Nesse contexto, a biotecnologia tem desempenhado um papel fundamental ao inserir, diretamente no genoma das plantas, características de resistência a agentes patogênicos e insetos, estimulando o sistema imune latente da planta, processo chamado de "ativação de resistência", reduzindo a necessidade de aplicação desses produtos.

Outro ponto latente no debate, tanto no aspecto ecológico, quanto na questão socioeconômica brasileira, é o da monocultura. Esta modalidade de produção pode ser

[29] *Farmers do not till their fields before planting. Instead, they use specialized equipment to create a channel that is just spacious enough for seeds to be planted, minimizing soil disturbance. Conventional tillage can leave soil vulnerable to wind and water erosion, high temperatures, and moisture loss.* (USDA, 2025).

interpretada como a prática de plantio de um único tipo de cultura em um campo, ao mesmo tempo, ou seja, mesmo que sejam aderidas diferentes culturas a cada ano, a prática ainda pode ser classificada como tal. A monocultura traz, portanto, benefícios econômicos muito interessantes ao agricultor, motivando tal prática, desde aumento da produtividade até a facilidade de gestão, o que garante a maximização da utilização do solo e das condições climáticas locais (EOS Data Analytics, 2025).

Por outro lado, a relação custo-benefício não se realiza ao elencar as desvantagens, tanto econômicas a longo prazo, quanto ambientais deste tipo de prática que já foi amplamente adotada em terras sul-americanas. A susceptibilidade à pragas e, consequentemente, a maior utilização de pesticidas, devido ao rápido alastramento das mesmas quando se acometem à plantação, é um dos fatores que faz com que a monocultura penda a intensificar o uso destes químicos, principalmente quando há desenvolvimento de resistência dos agentes externos (EOS Data Analytics, 2025). Logo, este aumento da utilização dos agrotóxicos, arrisca contaminar lençois freáticos e os trabalhadores que lá atuam, no entanto, um dos impactos mais relevantes da monocultura no solo, recai na exaustão do solo, uma vez que os cultivos que necessitam de uma variedade específica de nutrientes, os consomem constantemente.

Além da exaustão, a compactação e erosão do solo também estão associadas à monocultura, o que pode levar a desertificação daquela área. A compactação se refere ao processo em que o maquinário agrícola pesado comprime a região reduzindo a porosidade do solo, que

> vem resultando na diminuição no crescimento das raízes em profundidade, predispondo a planta à morte em curtos períodos de seca, no acúmulo de água na superfície do solo impossibilitando a respiração das raízes e favorecendo o processo de erosão hídrica do solo. (MACHADO, P. L. O. de A., 2003, p.8).

Consequentemente, o acúmulo de água na superfície favorece o processo de erosão hídrica. Segundo Melo (2021), a principal causa do depauperamento[30] do solo é a erosão, esta encontra na chuva seu maior catalisador, que na hipótese do solo descoberto ou com um alto grau de compactação, aumenta o nível de degradação, o que remove a parte mais fértil do solo, que é sua camada mais superficial. Nada obstante, todos esses aspectos negativos da monocultura, são amplamente conhecidos pelos produtores, sendo a rotação de culturas amplamente difundida, e recomendada por associações como a Aprosoja.

A rotação de culturas é uma técnica que consiste no cultivo alternado de diferentes espécies agrícolas numa mesma área ao longo do ano (Universo Agro Galaxy, 2024), que não

[30] Processo de degradação do solo

apenas um meio de sanear os impactos negativos da monocultura, as combinações de cultivos favorecem diferentes processos tanto para aumento de produtividade de certa cultura quanto para recuperação do solo.

- **Aveia preta – Milheto – Soja:** favorece a produção de palhada.
- **Aveia – Soja – Nabo forrageiro – Milho:** promove alta reciclagem de nutrientes K e N no cultivo do milho.
- **Nabo forrageiro – Milheto (primavera) – Soja:** auxilia na descompactação superficial do solo, produção de palha, reciclagem de potássio e controle de invasores.
- **Soja – Girassol (safrinha) – Milho:** beneficia a produtividade do milho e a estruturação do solo.
- **Soja – Milho – Feijão – Guandu:** proporciona cobertura e fixação de nitrogênio.
- **Soja – Girassol – Milheto:** retém água, proporciona cobertura e ajuda a reduzir a erosão.

Fonte: Universo Agro Galaxy, 2024.

No caso da soja, essa prática é realizada com espécies como milho, sorgo, aveia, trigo, algodão e, em alguns estados, cana-de-açúcar. Essa diversidade no sistema produtivo tem sido crucial para reduzir a exaustão do solo, melhorar seu equilíbrio biológico e controlar a incidência de pragas e doenças, sem recorrer ao aumento do uso de insumos químicos. Isto, portanto, barateia o processo produtivo a longo prazo, sendo mais vantajoso economicamente do que a monocultura tradicional, e esta técnica já se faz presente em grandes produções de soja Brasil afora.

Enxerga-se, aliás, a gestão dos recursos naturais destes vastos campos verdes como outro imbróglio no debate agroecológico, principalmente dos recursos hídricos. A pegada hídrica é um indicador que mede a quantidade de recurso hídrico para produção de determinada quantidade de produto, e para produzir 1 kg de soja são utilizados 1.388 L de água e para 1 kg de milho são usados 693 L de água (Martorano et al., 2022), o que ainda é inferior às culturas com maior pegada hídrica e necessidade de irrigação artificial. Todavia, como a soja é um produto de baixo valor agregado, e suas áreas perpassam por quilômetros a fio, não é economicamente viável que se faça a irrigação artificial da soja durante todo ciclo de cultivo, por isso, se planeja o plantio para a época chuvosa, esse processo chama-se lavoura de sequeiro,

nesse sentido, evidenciam-se os impactos significativos sobre a previsão do tempo, e a variabilidade climática nesse tipo de produção, que refletem diretamente na necessidade de utilização de irrigação artificial.

A elevação das temperaturas médias, e consequentemente a variabilidade dos padrões de precipitação e a maior frequência de eventos climáticos extremos comprometem severamente a produtividade das culturas agrícolas, de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), esses fenômenos alteram a disponibilidade de água para irrigação, influenciam a ocorrência de pragas e doenças e afetam a fertilidade dos solos (EPA, 2023), encarecendo o processo produtivo, que necessitando da busca de recursos hídricos em outros locais, afeta ainda mais o curso natural daquele bioma. Adicionalmente, tempestades e inundações têm se tornado mais recorrentes, danificando infraestruturas agrícolas e reduzindo a qualidade das colheitas (GIZ, 2023), comprometendo o armazenamento e o transporte de produtos agrícolas.

Essas mudanças, juntamente com o desinvestimento do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) pelo Estado, dificultam cada vez mais o planejamento de safras e de irrigação, e consequentemente de evitar perdas por desastres climáticos. Segundo um estudo publicado pela NPR (2024), "os modelos meteorológicos tradicionais baseiam-se em padrões climáticos passados; contudo, com o aquecimento global, esses padrões tornam-se menos previsíveis". Dessa forma, a precisão das previsões meteorológicas pode ser comprometida, especialmente em relação a eventos extremos. Aqui encontra-se um paradoxo, em que uma expansão agrícola desordenada, baseada na extinção de parcelas de biomas críticos[31] para a manutenção do equilíbrio climático, é responsável pelos impactos negativos na produtividade geradora desta expansão, "*fragile ecosystems such as rainforests and savannahs, because they can trigger massive land conversion in a relatively short period, leading to biodiversity loss and global warming*" (Marin, F.R., Zanon, A.J., Monzon, J.P. et al, 2022).

Embora a questão do carbono, grande catalisador dessas mudanças climáticas que impactam severamente as análises temporais, seja associada à produção de soja, vale ressaltar que quando se separa a questão do desmatamento proveniente da expansão da fronteira agrícola, não se encontram fortes indícios de que a produção em si contribui para uma liberação significativa deste GEE (Gás de Efeito Estufa). Segundo o Plano Diretor da Embrapa (PDE

[31] Neste trabalho, considerar-se-ão biomas críticos aqueles ecossistemas que apresentam elevada biodiversidade, alto grau de endemismo, e que se encontram sob intensa pressão antrópica, como desmatamento, expansão agropecuária e mudanças climáticas. No Brasil, destacam-se como críticos o Bioma Amazônia, o Cerrado e a Mata Atlântica, tanto por sua importância ecológica quanto pela velocidade de degradação registrada nos últimos anos.

2024-2030), 18% das emissões de GEE's na atmosfera são provenientes do agronegócio, sendo principalmente do (mau uso da terra, fermentação entérica e plantio de arroz). Vale também ressaltar que, o problema da emissão de carbono na lavoura sojícola, possui recursos combativos muito mais proeminentes do que na pecuária, uma vez que técnicas de fixação de carbono no solo, vide o Programa Soja Baixo Carbono (PSBC) da Embrapa, que possui adesão de grandes empresas que participam da cadeia produtiva, o que gerou diretrizes que podem ser aplicadas em produções de todo calibre, agregando ainda valor ao produto.

> A adoção de uma produção integrada gera um grande potencial de remoção de GEE, devido ao maior acúmulo de carbono no solo, bem como ao acúmulo de carbono no componente florestal do sistema. Em valores acumulados, o potencial de mitigação pode atingir 809,8 Mt CO2 eq. até 2030 (cenário 20%). Em um cenário de ampla adoção de integração, esse valor pode chegar a 1.259,7 Mt CO2 eq. (cenário 30%). (ESTEVAM G. C. et al., 2023, p.3).

Diante deste cenário, torna-se cada vez mais urgente o desenvolvimento de novos recursos que possibilitem a resiliência da agricultura frente às mudanças climáticas, que culminam não só na previsibilidade da safra ante desastres naturais e eventos climáticos inesperados, mas no desenvolvimento dos campos que envolvem a agricultura moderna, englobando inteligência artificial (IA), desenvolvimento da computação quântica e convencional, investimento em centros meteorológicos mais sofisticados entre outros. Por isso, a cooperação internacional se faz indispensável no desenvolvimento destas tecnologias, principalmente entre os países do sul global, que mais sofrem com estas mudanças climáticas, a exemplo do próprio Brasil e América Latina.

2.3 A RELAÇÃO DA EXPANSÃO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA COM OS ECOSSISTEMAS

Como visto anteriormente, é peremptório que não se pode imputar de forma generalista uma rotulação de insustentável ou danoso ao meio ambiente a produção de soja no âmbito de seu processo produtivo isolado, já que maior impacto sobre a biodiversidade dá-se na expansão desordenada de sua fronteira agrícola, uma vez que já existem meios de obter-se uma produtividade vantajosa de forma a não avançar, e até recuperar, com os danos ambientais causados por esse fenômeno. Logo, é entendida de forma iniludível uma assimetria regulatória, no que tange a falta de rédeas nesse processo expansivo, e no gradativo e contínuo aumento de incentivos estatais para o mesmo, é a principal causa do abalo ambiental a ser analisado. No entanto, antes de se evidenciar onde recaem estas assimetrias, deve-se compreender de forma clara qual o impacto dessa expansão sob uma macrovisão ambiental.

Nicholas Onuf (1989) argumenta que as estruturas sociais são construídas por meio de práticas e discursos reiterados ao longo do tempo. Assim, pode-se afirmar que os programas de incentivo estatal à expansão da fronteira agrícola não apenas promoveram materialmente a ocupação de novas terras, mas também moldaram uma compreensão social e institucional do desenvolvimento agrícola como sinônimo de progresso nacional. Ou seja, foram esses próprios incentivos que construíram a norma segundo a qual expandir-se — mesmo que à custa da biodiversidade — era uma prática legítima. Então, a consequência primordial de uma expansão descontrolada incide na perda de biodiversidade, fenômeno que pode ser descrito como a "redução ou desaparecimento da diversidade biológica" (Iberdrola, 2025), logo, a perda da variabilidade biológica de seres vivos habitantes de determinado local, assim como os padrões naturais presentes nos ecossistemas.

Portanto, a perda da biodiversidade não refere-se somente ao processo de extinção de animais e plantas, mas nas transformações dos ciclos naturais, compreendendo processos físicos e químicos que se relacionam com as mudanças climáticas. Para ser mais específico, a perda da biodiversidade mais alarmante no âmbito do agronegócio, atribui-se à redução de vegetações nativas, o que como tudo na natureza, está interconectado, impactando os outros seres vivos daquela região, e consequentemente, os seres humanos. A United Nations Foundation dá uma atenção especial para a Amazônia no âmbito da perda da biodiversidade, mesmo não sendo um fenômeno exclusivo, sua criticidade para a regulação climática global, e para manutenção da vasta diversidade biológica presente no local.

> *There are few places on the planet where the threat of biodiversity loss is more evident than the Amazon, which is being destroyed by record levels of deforestation despite being home to one-third of the planet's species — the greatest concentration of biodiversity on Earth.* (Altman MJ, 2023, s.p).

E como solução para frear a "Biodiversity Apocalypse" (Altman MJ, 2018), um dos pilares reside no suporte a agricultura sustentável e no uso consciente da terra, apesar do reconhecimento que apenas parar de degradar já não é mais o suficiente, a restauração deve ser pauta prioritária na agenda de preservação ambiental.

O próprio plano diretor da Embrapa 2024-2030, que orienta as ações da empresa pelos próximos anos, reconhece estes imbróglios que permeiam a produção agropecuária brasileira, e por isso tem como um de seus objetivos estratégicos a sustentabilidade e resiliência na produção nacional. Este documento é de suma importância ao analisar o panorama brasileiro de agronegócio, uma vez que a empresa pública, direciona os esforços de pesquisa e coleta de dados no país, sendo o principal polo de desenvolvimento sustentável e agricultura

regenerativa, campo pouco explorado por empresas privadas. Portando seu plano diretor, além de evidenciar os principais imbróglios da agricultura nacional em 2024, aponta seus esforços em uma direção que pode vir a ser incorporada pelos produtores futuramente, logo, entendendo os objetivos estratégicos da embrapa, faz-se uma melhor projeção das tendências inovativas do agro nacional.

Dentre os objetivos estratégicos do plano, três se destacam no que tange à expansão da fronteira agrícola e preservação da biodiversidade, sendo "Produção Sustentável e Competitividade" e "Recursos Naturais e Mudança do Clima". O primeiro objetivo destaca a "Aplicação de novas tecnologias" e "Métricas e Indicadores de Sustentabilidade", que estão intrinsecamente conectados, uma vez que por meio de dados coletados da pesquisa, são desenvolvidos novos recursos tecnológicos para atender às novas demandas ambientais, criando uma produção não só sustentável, mas resiliente às mudanças ambientais.

Já o segundo objetivo estratégico tem como subdivisões proeminentes a "Redução de Pressão sobre os Biomas", que concerne-se pela redução da perda da biodiversidade localizada; "Agricultura Conservacionista" que incentiva práticas sustentáveis e regenerativas; e "Paisagem agrícola, biodiversidade e serviços ecossistêmicos" que engloba o incentivo de busca por informações e indicadores sobre a relação entre a paisagem agrícola, a conservação da biodiversidade. Logo, encontra-se aqui, uma latência, mesmo que não especificada como tal, da preocupação com a expansão da fronteira agrícola como fenômeno territorial, salientando a importância de recursos regenerativos e reconhecimento dos biomas como espaço crítico que deve ser preservado. Por fim, mesmo não sendo um objetivo específico expresso Ipsis litteris, o termo "políticas públicas" aparece por entre vários objetivos específicos como um direcionamento de incentivo ao setor agropecuário, tanto na parte empresarial como à sustentabilidade, no entanto não toca na questão da expansão territorial, no que tange à regulações restritivas, o que não direciona encaminhamentos para ações tangíveis na questão dessa expansão.

Ao analisar o plano mais a fundo, as palavras "desmatamentos" e "queimadas" só aparecem uma vez no documento:

> A atenção das organizações ambientais e da opinião pública nacional e internacional aos desmatamentos e queimadas ilegais demanda ações de inteligência, articulação e comunicação, de modo a garantir a preservação dos recursos naturais e não comprometer as futuras exportações agrícolas ou os serviços ecossistêmicos da floresta. (Embrapa, 2024 p.11).

Portanto, depreende-se da análise dos objetivos estratégicos do documento, assim como suas intenções para o futuro, que a preocupação com o desmatamento e queimadas ilegais, não é uma pauta prioritária para a qual a empresa irá voltar sua energia. Mesmo que esta não seja a prerrogativa da Embrapa, entende-se, por meio do objetivo específico "Redução de Pressão sobre os Biomas", e a compreensão que uma expansão agrícola desordenada para biomas críticos como a amazônia impacta negativamente o agronegócio como um todo a longo prazo, que essa preocupação seria necessária também por parte da embrapa, mesmo no que tange à inclinação institucional, comunicação e conscientização dos produtores. Isto evidencia-se pelo fato de já haverem certificações internacionais de produtos agrícolas que não incentivam o desmatamento, que o caso do Regulamento Europeu Antidesmatamento (EUDR), que proíbe a importação de produtos agrícolas e florestais (e seus derivados) que estejam associados a desmatamento ou degradação florestal após 2020, ou seja, há uma preocupação internacional com tais medidas que não se converte em um apoio ou respaldo institucional equivalente pela principal empresa pública do setor agropecuário brasileiro.

3. IDENTIFICAÇÃO DE EXCESSOS E O CONTROLE DE SINTONIA FINA

3.1 RECURSOS PARA UMA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

Com vistas portanto, a demonstração cabal da possibilidade de incrementar uma produtividade agrícola sem necessariamente recorrer a perda da biodiversidade, foi elencada em uma tabela, a partir de uma revisão de bibliografia com finalidade, os recursos mais proeminentes, e posteriormente, inovadores, que podem ser utilizados em diversas etapas da produção sojícola.

Tabela 2 - Recursos Sustentáveis

Categoria	Tecnologia / Prática	Descrição
Monitoramento e Previsão	Sensores de umidade e temperatura do solo	Medir em tempo real, otimizando a irrigação e prevenindo estresse hídrico.
	Drones agrícolas	Monitorar rapidamente a lavoura, detectando pragas, doenças e deficiências nutricionais.

	Satélites e inteligência artificial	Fornecer imagens e dados climáticos para planejamento agrícola preciso.
	Modelos preditivos	Usar IA e big data para prever padrões climáticos e orientar o manejo agrícola.
Gestão Eficiente da Água e do Solo	Irrigação de precisão	Gotejamento direcionado às raízes, reduzindo desperdício e mantendo a umidade.
	Captação e armazenamento de água da chuva	Diminuir a dependência de fontes externas e garante irrigação em épocas secas.
	Agroflorestas	Integrar árvores aos cultivos, melhorando retenção de água, microclima e biodiversidade.
	Uso de biofertilizantes	Aumentar a fertilidade e retenção de água no solo, com menor impacto ambiental.
Melhoramento Genético e Biotecnologia	Culturas resistentes à seca, calor e enchentes	Manter a produtividade em condições climáticas adversas.
	Plantas adaptadas contra pragas e doenças	Diminuir o uso de pesticidas, preservando o ecossistema.
	Uso de bioinsumos	Bio-pesticidas e biofertilizantes naturais aumentam resistência e reduzem químicos.
Sistemas Alternativos de Produção	Agricultura vertical e estufas inteligentes	Otimizar espaço, água e energia, protegendo de extremos climáticos.
	Plantio direto	Preservar a cobertura do solo, reduzir a erosão e melhorar a fertilidade.
Digitalização e Automação	Tratores e colheitadeiras autônomas	Otimizar recursos e aumentar a eficiência na colheita.

	Softwares de gestão agrícola	Controlar detalhadamente as operações e reduzir perdas.
	Blockchain para rastreamento de alimentos	Garantir rastreabilidade e segurança alimentar, reduzindo desperdícios.
Práticas Sustentáveis	Rotação de culturas	Melhorar a biodiversidade e saúde do solo, reduzindo pragas.
	Uso de biochar	Aumentar a retenção de nutrientes e sequestrar carbono.
	Captação de carbono no solo	Técnicas regenerativas que reduzem emissões e melhoram o solo.

Elaboração própria (com base em dados de diferentes fontes, ver Apêndice 1)

A continuidade da produção de soja no Brasil depende, cada vez mais, da adoção dessas tecnologias e práticas capazes de aumentar a eficiência produtiva e, simultaneamente, preservar os recursos naturais finitos. Nesse contexto, uma série de recursos técnicos e científicos tem se destacado como fundamentais para viabilizar esse velho paradigma agrícola. Entre eles estão os sensores, a inteligência artificial, a agricultura regenerativa, os bioinsumos, os sistemas integrados, os cultivares adaptados, o plantio direto, o monitoramento climático, o mapeamento de carbono e a agricultura de precisão. Todos esses elementos, quando utilizados de maneira coordenada, contribuem para uma produção de soja intensiva inteligente que não requer a expansão territorial, o que de certa forma acaba sendo ainda mais economicamente viável ao produtor, uma vez que quanto maior a área de produção, e consequentemente monitoramento, mais caro este processo se torna.

Os sensores remotos e de solo fazem parte deste monitoramento espacial, permitindo a coleta constante de dados sobre umidade, temperatura, fertilidade e presença de pragas. Essas informações alimentam sistemas inteligentes que, com o uso da inteligência artificial, analisam padrões e oferecem recomendações em tempo real sobre manejo, irrigação e controle fitossanitário. Isso reduz significativamente o uso de insumos e melhora a assertividade das decisões no campo. Por conseguinte, em vez de aplicar defensivos em toda a lavoura, o produtor pode tratar apenas áreas específicas, essas iniciativas fazem parte do que é chamado de agricultura de precisão (AP).

Mesmo a lavoura sendo um ambiente não uniforme (GREGO, C. R. et al., 2020), a AP *per se* é um processo altamente integrado com outras tecnologias, que estão presentes em diferentes etapas como coleta, armazenagem, análise e aplicação, compreendendo técnicas computacionais sofisticadas. Logo, o uso de drones agrícolas, e de satélites em uma escala maior, são divisores de águas no monitoramento da região a ser analisada, auxiliando não só na produtividade sustentável, tanto no ponto de vista financeiro como ambiental, mas no alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentáveis (ODS) (BUENO, Inácio T. et al., 2023). Então, ao combinar as tecnologias de monitoramento provindas de drones e satélites, com o uso dos sensores remotos e de solo, é possível mapear a região de uma forma precisa, que quando combinada ao uso de inteligências artificiais para processamento de dados e sugestões de procedimentos de acordo com os parâmetros pré-determinados, cria um ambiente que utiliza somente a quantidade de insumos necessários, com uma produtividade maior por hectare.

Ergo, tal afirmação corrobora com Marin et al. (2022) no estudo "*Protecting the Amazon forest and reducing global warming via agricultural intensification*", tendo na intensificação (aumento da produtividade em áreas existentes), pode conciliar produção e objetivos sustentáveis. São explorados, portanto, dois pontos principais dentro deste contexto, sendo "colheita alcançável" (tradução própria) que será referida como "potencial de colheita" e "uso da terra" (tradução própria). Logo, são feitas projeções para o potencial de colheita da cultura da soja no Brasil, com base em simulações de um cenário ideal de disposição de nutrientes, uso da terra, e ausência de pragas e fatores redutivos da produção. Como resultado da análise, caso a produção permaneça se desenvolvendo *in statu quo,* referido no estudo como *Business as Usual* (BAU), a produtividade aumentaria ao custo da conversão de ca. 5.7 milhões de hectares de floresta tropical e cerrado nos próximos 15 anos — a partir de 2022 (publicação do artigo) — liberando um equivalente a aproximadamente 2.000 megatoneladas de CO_2 na atmosfera.

Em contraste, em um cenário alternativo, que englobe as iniciativas para melhoramento da colheita, em *pari passu* com a expansão em áreas já desmatadas ou utilizadas para gado ao invés de florestas intocadas, o Brasil poderia produzir cerca de 162 megatoneladas de soja sem agravamento do deflorestamento (Marin et al., 2022). Além disso, tal abordagem reduziria imensamente as emissões de carbono provenientes da perda da biodiversidade, mitigando o avanço das mudanças climáticas em ca. 58%, devido a não emissão de carbono, comparada com o método BAU. Logo, compreende-se que, com o avanço tecnológico da humanidade se perpetua, soluções para problemas antigos são criados, ainda mais quando se fala de mudanças

climáticas e desenvolvimento sustentável, e que o desafio se assenta no transporte destas tecnologias e deste conhecimento dos laboratórios e das academias para o campo.

Tal desenvolvimento, no entanto, não se restringe em recursos já criados e testados, mas também entre vislumbres do futuro, tal como a computação quântica, que não só apresenta usabilidades práticas, mesmo que limitadas, mas funciona como um catalisador de tecnologias já existentes, quebrando a barreira do que se enxerga como solução única para o atingimento dos ODS, e da agenda de sustentabilidade das nações.

> *Agriculture has undergone progressive transformations using ever-evolving technologies to increase productivity and profitability. A new approach to agricultural management based on concepts from the fourth industrial revolution is being gradually adopted. It aims to increase agricultural productivity while minimizing inputs and pollutants. Quantum computing has opened up new ventures for various fields, and one promising application is its integration into agriculture.* (MARAVEAS et al., 2024, p.1)

O estudo de Maraveas (2024) faz um levantamento das principais tendências dentro da computação quântica que podem ser de grande valia para a lavoura, projetando recursos de AP com modelos de alta fidelidade e célere responsividade, integrando sensores, softwares agrícolas, IA e mecanismos de aplicação de insumos de alta precisão. No entanto, além das usabilidades *in locus,* o trabalho aborda a importância dos modelos computacionais de processadores quânticos no incremento de projeções climáticas, o que é essencial para a resiliência climática da agricultura. Portanto, o que pretende-se evidenciar com a "Tabela 2", o estudo de Marin et al. (2022) e o levantamento de Maraveas (2024), é que soluções para a perda da biodiversidade ocasionada pela expansão agrícola descontrolada são claras e tangíveis, e que é possível intensificar a produtividade sem continuar dilatar a degradação, e seguir com a agenda de sustentabilidade no Brasil.

Entretanto, a remediação proporcionada pelos recursos aqui analisados, não podem ser a única frente para o combate às mazelas ambientais causadas pelo agronegócio, uma vez que sua causa deve ser o ponto de partida do processo de sustentabilização da agricultura. Logo, para interromper o processo crescente da perda de biodiversidade, principalmente em biomas críticos, legislações devem direcionar este processo, para que seja feito de modo a não trazer prejuízos futuros, e que incentivem o uso dos recursos abordados anteriormente. Tal entendimento, porém, vai de encontro com políticas de incentivo, que catalisam uma expansão

desordenada e danosa, fenômeno este que deve ser visto de forma global, tanto na questão do incentivo como da preservação.

3.2 O CONTROLE DE SINTONIA FINA NO ÂMBITO DO AGRONEGÓCIO

Susan Strange (1988) destaca que, na contemporaneidade, o poder dos mercados financeiros supera o tradicional poder dos Estados, impondo uma disciplina que limita a autonomia dos governos para implementar políticas internas que contrariem os interesses econômicos globais. Essa dinâmica cria um ambiente no qual os Estados periféricos ajustam suas agendas econômicas para garantir a confiança dos investidores internacionais e a continuidade do fluxo de capitais. Portanto, encontra-se uma comodidade, em que as demandas do mercado internacional, no caso o *boom* de *commodities* dos anos 2000, englobando a soja, dão origem a política interna voltada à suprir esta demanda inicial, o que abre espaço para o adentramento do mercado financeiro no agronegócio, tal como abordado no cap. 1.1.

Com isso, a expansão do agronegócio se torna uma estratégia de maximização do poder econômico, que visa consolidar a posição do Brasil no comércio internacional, especialmente como um dos maiores exportadores da commodity. Porém, como destacado por Godoy (2007, p. 72), "o Estado brasileiro, ao buscar crescimento econômico a partir do agronegócio, muitas vezes ignora as externalidades ambientais, devido à pressão interna de poderosos setores econômicos". Esse fenômeno pode ser compreendido à luz da teoria crítica da Economia Política Internacional, tal como abordado por Strange (1988), que aponta que o poder crescente dos mercados financeiros limita a autonomia estatal, impondo uma lógica de ajuste que privilegia a estabilidade econômica e a confiança internacional em detrimento das demandas sociais e ambientais internas. Dessa forma, o Brasil prioriza o incentivo ao setor agrícola não apenas para manter sua competitividade internacional, mas também para assegurar a continuidade do fluxo de capitais e o apoio político interno, em um contexto de forte influência dos interesses financeiros sobre as decisões governamentais, como exemplificado pelo processo de "desregulação e re-regulação" (Eloy et al., 2023).

Isto posto, o desequilíbrio entre as políticas de incentivo ao agronegócio e as políticas de controle[32] reflete a priorização de interesses econômicos internos, em detrimento de medidas mais eficazes de preservação ambiental. Essa dinâmica pode ser analisada sob a ótica da Economia Política Internacional, que destaca como os Estados periféricos muitas vezes

[32] Políticas públicas de moderação e controle da expansão agrária e de incentivo e implementação à produção sustentável.

priorizam a integração ao sistema financeiro e às demandas globais por commodities, ajustando suas políticas internas para garantir a confiança dos mercados internacionais e o fluxo de capitais (STRANGE, 1988). Nesse sentido, Epstein (2005) complementa essa visão ao enfatizar a financeirização da economia global, que reforça a predominância dos interesses financeiros externos sobre as necessidades sociais e ambientais nacionais. No caso brasileiro, o incentivo massivo à expansão agrícola, sem uma política ambiental moderadora, pode ser interpretado como um excesso, resultando no comportamento de um Estado frente à sua necessidade de sustentar seu poder econômico, mesmo que isso comprometa a sustentabilidade a longo prazo.

Logo, no âmago da presente análise, é evidenciada a necessidade de que as ações de intervenção — no âmbito do controle expansionista, e da preservação ambiental — tenham gênese na mesma máquina pública que ratifica a perpetuidade da expansão econômica provinda do agronegócio, uma vez que o interesse de preservação da biodiversidade é, de fato, público. Então, no âmbito desta comparação, e partindo do entendimento que o Estado historicamente já intervém, de forma facilitadora, no modelo de negócio agrícola, evoca-se o conceito de controle de sintonia fina, que objetiva parear esta facilitação de forma equilibrada e proporcional à remediação e prevenção de desvantagens causadas. O princípio da proporcionalidade, o qual o controle sintonia fina se assenta, é explorado por (MENDES; BRANCO, 2014, p. 320-332), em que a ideia é analisada à luz da doutrina alemã, onde o tema reside tanto no âmbito dos direitos fundamentais quanto no contexto do Estado de Direito.

Essa ideia do controle de sintonia fina, explorada por Marques (2010), vem do termo alemão *Stimmigkeitskontrolle*, que do ponto de vista etimológico, *Stimmigkeits* se traduzindo como "coerência", e *Kontrolle* "controlar", podendo ser interpretado como "fiscalizar" no contexto jurídico, tem sua utilização de forma patente no Direito Constitucional e Administrativo, e que se objetiva na indicação da "justeza da solução encontrada ou a necessidade de sua revisão" (MENDES; BRANCO, 2014, p.332). Tendo isso em vista, esse controle também pode ser interpretado como uma proibição de excessos (*Verhältnismässigkeitsprinzip; Ubermassverbot*) "que se revela mediante contraditoriedade, incongruência e irrazoabilidade ou inadequação entre meios e fins" (MENDES; BRANCO, 2014, p.332). Em concomitância, Marques (2010) versa sobre a proporcionalidade, dentro do contexto do *Stimmigkeitskontrolle,* do ponto de vista conceitual, em que "Um meio é proporcional se as vantagens que promove superam as desvantagens que provoca" (Marques, 2010). Aqui deve-se, então, realizar a complementação dos conceitos, uma vez que a proibição dos excessos serve para controlar e garantir a harmonia da proporcionalidade, inclusive no que

tange às vantagens, uma vez que tudo que excede uma grande unidade de medida, mesmo que favorável *a priori*, sempre acarretará em uma perda para outra ponta.

Segundo Ávila (2021, p.37), "Se a proporcionalidade em sentido estrito for compreendida como amplo dever de ponderação de bens, princípios e valores, em que a promoção de um não pode implicar a aniquilação de outro, a proibição de excesso será incluída no exame da proporcionalidade.". Então, percebe-se que nem tudo aquilo que é vantajoso, é proporcional, uma vez que se terá excessos, o que imputa uma visão mais ampla do que é o controle de sintonia fina, ou seja, não se trata apenas de limitar excessos, mas de propor ações positivas de reequilíbrio e coerência institucional. Chega-se, assim, no entendimento que a proporcionalidade, e por conseguinte o controle de excessos, deve não só ter um caráter revisor e restritivo, mas também equalizador, proporcionando o equilíbrio e a razoabilidade ao objeto.

Então, no âmbito das políticas públicas e da estrutura administrativa do Estado, almeja-se, em contraponto à políticas excessivas, políticas de moderação e controle, servindo como contrapeso. Sob a égide deste entendimento, ao compreender o funcionamento do crédito rural no Brasil (Cap. 1.1), e como se dá o fenômeno de expansão da soja, é peremptório que o incentivo estatal de políticas como o Plano Safra e suas vertentes, tal como o PAD/DF, possui um papel catalisador inexorável neste processo. Portanto, as vantagens econômicas provindas de uma rápida expansão, possuem desvantagens paradoxais economicamente, concluindo-se que tais medidas de incentivo, quando não acompanhadas de políticas ambientais, são desproporcionais.

Então, com vistas a realização de uma análise comparativa entre as políticas de incentivo à expansão agrícola e as políticas de controle já existentes, observando sua abrangência, força normativa e eficácia, para então constatar se as políticas públicas voltadas ao setor agrícola operam de forma proporcional. Ergo apresenta-se uma tabela com os principais mecanismos de regulação e promoção da sustentabilidade, que permitirá avaliar se há equilíbrio ou excesso na atuação estatal voltada ao agronegócio.

Tabela 3 - Políticas de Controle

Instrumento legal	**Tipo**	**Objetivo principal**	**Alcance / Abrangência**	**Principais Limitações**
Código Florestal (Lei nº 12.651/2012)	Legislação	Preservação ambiental em propriedades rurais (RL e APPs)	Nacional – obrigatório para todos os imóveis rurais	Aplicação frágil, baixa fiscalização, anistias frequentes (NUSDEO, 2021; OBSERVATÓRIO DO CÓDIGO FLORESTAL, 2022; OLIVEIRA, 2021)

Cadastro Ambiental Rural (CAR)	Instrumento de controle	Registro de áreas de preservação e uso das propriedades rurais	Nacional – obrigatório	Muitos cadastros com informações falsas ou incompletas (CARVALHO; BARBOSA, 2019)
Programa de Regularização Ambiental (PRA)	Regularização ambiental	Recuperação ambiental de imóveis em desacordo com o Código Florestal	Nacional – atrelado ao CAR	Pouco implementado pelos estados; baixa adesão (OBSERVATÓRIO DO CÓDIGO FLORESTAL, 2024)
Plano ABC / ABC+	Política de fomento ambiental	Incentivar práticas sustentáveis e reduzir emissões de GEE	Nacional – via MAPA e crédito rural	Aderência voluntária; financiamento reduzido comparado ao Plano Safra (MACHADO, 2023)
Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE)	Ordenamento territorial	Planejar o uso sustentável do território	Estadual e federal – varia conforme região	Baixa implementação; não vinculante ao crédito nem à fiscalização (PAIVA; SANTOS, 2023)
Moratória da Soja	Compromisso voluntário privado	Impedir compra de soja oriunda de áreas desmatadas na Amazônia	Amazônia Legal – setor privado	Não cobre o Cerrado; sem força legal (SIMÕES, 2017)
Crédito rural condicionado à sustentabilidade	Política financeira	Vincular acesso ao crédito à regularidade ambiental	Limitado – algumas linhas específicas	Pouco adotado; maioria do crédito ainda é irrestrito
Embargos do IBAMA / INCRA	Fiscalização repressiva	Impedir produção e comércio em áreas desmatadas ilegalmente	Nacional – focado em áreas embargadas	Poucos fiscais; dificuldades logísticas e políticas (SCHMITT, 2015)

Fonte: Elaboração própria

Vide a Tabela 3, fica nítida a disparidade no tocante à eficácia e limitações entre as políticas de incentivo e controle no agronegócio. Sabe-se que casos de incongruência não podem ser tomados como regra, no entanto não se pode descartar que as fragilidades dessas políticas se apresentam em um cenário de forte expansão agrícola, tal como evidenciado no cap. 2.1, desnudando uma relação tangível de assimetria.

No âmbito legislativo, o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012)[33] figura como o principal instrumento de preservação ambiental em imóveis rurais, ao estabelecer regras para Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reserva Legal (RL). No entanto, sua eficácia esbarra em fragilidades históricas, como a baixa fiscalização e sucessivas anistias a desmatamentos ilegais, o que gera um incentivo tácito à impunidade (Azevedo et al., 2017; Soares-Filho et al., 2014).

Além do código florestal, outro mecanismo basilar, o Cadastro Ambiental Rural (CAR), criado como um instrumento de controle territorial, que busca registrar informações ambientais das propriedades, encontra obstáculos semelhantes, em que muitos cadastros são preenchidos com informações falsas ou incompletas, comprometendo a credibilidade do sistema e dificultando o uso dos dados para o planejamento efetivo da fiscalização (Garcia et al., 2022). Segundo o MapBiomas (2023), cerca de 30% da área registrada como Reserva Legal no CAR sobrepõe-se a áreas já desmatadas. À contracorrente disso, a fragilidade não se restringe à legislação e ao controle cadastral.

O Programa de Regularização Ambiental (PRA), que deveria atuar como ferramenta reparadora para imóveis rurais em desconformidade com a legislação, permanece com baixa implementação por parte dos estados e adesão reduzida pelos produtores, revelando a falta de articulação federativa (IPEA, 2020). Já políticas de incentivo ambiental como o Plano ABC – e sua versão atualizada, o ABC+ apresentam diretrizes relevantes voltadas à redução de emissões e ao estímulo de práticas agropecuárias sustentáveis. Contudo, sua aderência ainda é voluntária, e os recursos destinados ao financiamento dessas práticas são muito inferiores aos montantes direcionados às linhas de crédito tradicionais do Plano Safra (Assis et al., 2021; Oliveira & Lima, 2023).

Outros instrumentos como o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), embora importantes do ponto de vista do ordenamento territorial, carecem de força vinculante, o que limita sua efetividade. Como destacado por Monteiro et al. (2020), o ZEE muitas vezes não é integrado aos mecanismos de concessão de crédito ou de fiscalização, perdendo assim sua capacidade de orientar políticas públicas. Em *pari passu*, ações de fiscalização mais diretas, como os embargos do IBAMA e do INCRA, enfrentam dificuldades operacionais, com número

[33] A Lei nº 12.651/2012, também conhecida como Novo Código Florestal Brasileiro, estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação nativa no território nacional. Ela dispõe sobre Áreas de Preservação Permanente (APPs), Reserva Legal, uso restrito e controle do desmatamento, buscando compatibilizar a produção agropecuária com a conservação ambiental. (BRASIL, 2012).

insuficiente de fiscais, além de entraves logísticos e políticos que comprometem sua abrangência e continuidade (Barreto et al., 2020).

Portanto, a presença majoritária de mecanismos voluntários, pouco coercitivos, ou com baixo alcance orçamentário, escancara a prevalência de um modelo agrícola que prioriza o crescimento e a ocupação territorial em detrimento da preservação ambiental, como se a responsabilidade ecológica fosse um apêndice opcional e não uma exigência natural. Tal descompasso institucional corrobora a ideia de que, embora existam dispositivos para a contenção da expansão predatória, estes permanecem subvalorizados e ineficazes frente ao aparato robusto de fomento estatal à produção e à ocupação contínua de novas áreas.

Agora, com o objetivo de quantificar tal argumentação, pode-se comparar a quantidade de recursos empenhados para incentivos e iniciativas de controle. Com isso, a tabela abaixo contrasta o investimento do Plano Safra 2023/2024, com o investimento total dos órgãos que efetivam as políticas de controle, o que revela o tamanho da disparidade no quesito orçamentário para tais.

Tabela 4 - Comparação de Valores Empenhados em Milhões entre o Plano Safra e Instituições de Controle

Categoria	Instrumento / Programa	Valor Empenhado (R$ milhões)	Fonte
Políticas de Incentivo	Plano Safra 2023/2024	364.220	Governo Federal (2023)
	- Custeio e comercialização	272.120	Governo Federal (2023)
	- Investimentos	92.100	Governo Federal (2023)
Total Políticas de Incentivo		364.220	Governo Federal (2023)
Políticas de Controle Ambiental	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama)	559	Horadopovo (2023)
	- Fiscalização e controle de incêndios florestais	50,2	Horadopovo (2023)
	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra)	600	Governo Federal (2024)
	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA)	2.963,60	Portal da Transparência (2023)
	- Ações de fiscalização e combate ao desmatamento	361,5	Portal da Transparência (2023)

	- Prevenção e controle de incêndios florestais	83	Portal da Transparência (2023)
	- Gestão do Cadastro Ambiental Rural (CAR)	26,5	Portal da Transparência (2023)
Total Políticas de Controle Ambiental		4.109,30	Horadopovo (2023); Governo Federal (2024); Portal da Transparência (2023)

Fonte: Elaboração Própria

A discrepância entre os valores empenhados nas políticas de incentivo à expansão agrícola e nas instituições de controle e incentivo ambiental, com o primeiro recebendo cerca de 89 vezes mais recursos, é uma evidência clara de uma desproporção no tratamento desses dois aspectos, ou seja, se comparar iniciativa por iniciativa, a assimetria seria ainda mais protuberante. Por conseguinte, ao aplicar o conceito de controle de sintonia fina, observamos que a intervenção estatal em favor da expansão agrícola, embora legítima, precisa ser balanceada com medidas de controle, fiscalização e incentivo à sustentabilidade que sejam proporcionais aos impactos ambientais gerados. A lógica da proporcionalidade, portanto, exige que as vantagens econômicas da expansão sejam ponderadas com os custos ambientais que ela impõe, e que a ação estatal seja ajustada para evitar excessos que possam prejudicar o equilíbrio ecológico, afetando diretamente a biodiversidade e a qualidade de vida das gerações futuras.

3.3 PERSPECTIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL

Já foi contatado que existem diversas saídas para o desequilíbrio assentado na expansão da soja no Brasil, que *per se,* é um dos mercados mais afetados pelas consequências negativas da perda de biodiversidade. Além disso, foram elencadas políticas de controle já existentes, que compõem uma teia de controle ambiental, capaz de moderar a expansão para um crescimento econômico consciente e sustentável. Logo, “O problema não é a ausência de instrumentos legais, mas sim a ausência de mecanismos eficazes de coordenação e implementação.” (IPEA, 2020), isto é, para a pendulação dos excessos até um patamar equilibrado, requer-se, não novas políticas públicas de controle, mas a equalização das já existentes para o platô das políticas de incentivo.

Então, deve-se analisar as avarias e limitações dos instrumentos de controle, para calibrá-los até sua efetividade, o que não necessariamente representa aumento de custos ou perdas de oportunidades dentro do mercado de soja, vigor e robustez de tais iniciativas. Por

isso, a Tabela 5 irá trazer sugestões baseadas nas vulnerabilidades ora apresentadas na Tabela 3.

Tabela 5 - Propostas de Solução para as Políticas de Controle

Instrumento Legal / Programa	Propostas de Solução
Código Florestal (Lei nº 12.651/2012)	- Reforçar a atuação dos órgãos estaduais ambientais com apoio federal; - Condicionar anistias a compromissos efetivos de recuperação ambiental; - Utilizar tecnologias de monitoramento remoto para verificar RL e APPs.
Cadastro Ambiental Rural (CAR)	- Auditoria automatizada com imagens de satélite (como MapBiomas e INPE); - Responsabilização por fraudes no registro; - Capacitação técnica para validação municipal e estadual.
Programa de Regularização Ambiental (PRA)	- Vincular o PRA ao acesso ao crédito rural e à regularização fundiária; - Oferecer apoio técnico e incentivos financeiros para adesão; - Monitorar o cumprimento por meio de plataformas digitais.
Plano ABC / ABC+	- Aumentar os recursos destinados ao Plano ABC+ proporcionalmente aos impactos positivos esperados; - Tornar obrigatório para grandes propriedades e exportadores; - Criar um sistema de certificação com benefícios comerciais.
Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE)	- Tornar o ZEE obrigatório para concessão de crédito e licenciamento ambiental; - Integrar o ZEE ao planejamento estadual e federal com incentivos específicos; - Atualização periódica com participação social e científica.
Moratória da Soja	- Ampliar a moratória para o Cerrado e transformá-la em política pública vinculada ao crédito rural; - Criar marcos regulatórios para compromissos de desmatamento zero; - Fortalecer a rastreabilidade da cadeia produtiva com exigência legal.
Crédito rural condicionado à sustentabilidade	- Estabelecer critérios ambientais obrigatórios para todas as linhas de crédito oficial; - Criar pontuações verdes para premiar boas práticas com juros menores; - Monitorar o cumprimento dos critérios com apoio do CAR e PRA.
Embargos do IBAMA / INCRA	- Aumentar o número de fiscais com concursos públicos e descentralização; - Automatizar a fiscalização com uso de IA, satélites e drones; - Integrar embargos a sistemas de crédito, rastreabilidade e comércio digital.

Fonte: Elaboração Própria

Logicamente, em setores fiscalizadores, somente atualizações normativas não seriam suficientes para cobrir as lacunas de efetividade, uma vez que neste caso em específico, tanto um contingente humano, quanto digital, é necessário para cobrir as áreas críticas do país, território este com dimensões continentais, o que encarece tal processo. Neste sentido, para

uma maior eficácia da aplicação das previsões do código florestal, além do trabalho de intervenção do IBAMA e INCRA, uma realocação orçamentária seria indispensável para modernização e posicionamento das instituições, para que possam garantir a biodiversidade e direcionar assentamentos de forma controlada. Mesmo assim, ações como enrijecimento de penas ambientais, e inflexibilidade para anistias, é de inefável importância, pois um crime ambiental é um crime contra toda a população brasileira e o que compõe a diversidade natural do território, sendo um princípio basilar para uma legislação forte e vinculante.

Já o CAR pode ser aprimorado por meio de verificações cruzadas e validação de dados por órgãos independentes, para evitar declarações falsas ou incompletas que comprometem toda a cadeia de controle ambiental. O uso de tecnologias de sensoriamento remoto e inteligência artificial pode ser uma solução viável para aumentar a precisão e a transparência das informações registradas. Além disso, assim como dito anteriormente, a responsabilização adequada para fraudes, principalmente em biomas críticos ou em situações que resultem em perda de biodiversidade em áreas a princípio protegidas, deve ter um caráter draconiano. Juntamente, o PRA, em paralelo ao CAR, deve contar com a ampliação da integração entre os estados e municípios com o governo federal, estimulando a adesão efetiva dos proprietários rurais das mais diversas localidades, escanteando a informalidade regulatória, e aumentando o controle sobre áreas críticas.

Para o Plano ABC / ABC+, que estimula a integração de diversas iniciativas para agricultura de baixo carbono, necessitaria de uma ampliação seu financiamento e transformar a adesão voluntária em um componente obrigatório para acesso a linhas de crédito rural, alinhando os incentivos econômicos com práticas agrícolas de baixa emissão. Tal movimento pode ser executado com uma organização orçamentária dentro do orçamento já existente para crédito rural, o que indubitavelmente posicionaria a agricultura brasileira em um patamar ainda mais respeitado do que é hoje internacionalmente, agregando valor aos produtos exportados — não somente a soja — e mitigando as consequências negativas das mudanças climáticas à longo prazo. No que tange ao Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), é crucial conferir-lhe caráter vinculante, integrando seu planejamento aos sistemas de crédito e fiscalização ambiental, transformando-o em ferramenta central para a definição de usos permitidos do território. Isso requer articulação política e institucional para garantir que o zoneamento seja respeitado e aplicado em todas as esferas.

De modo geral, logicamente ao aumentar a quantidade de recursos em qualquer iniciativa, sua efetividade, quando bem administrada, gozará de um impulsionamento tangível, no entanto algumas estratégias podem ser utilizadas sem o incremento orçamentário para

alcançar o almejado equilíbrio econômico-sustentável. Tais táticas podem ser alcançadas primeiramente se atendo ao rigor da lei já escrita, responsabilizando atos controversos de forma proporcional, sem banalizar a gravidade destas controvérsias ou atos de impunidade. Além disso, a vinculação de iniciativas ambientais, as condicionando ao crédito rural, é de extrema valia para a produção sustentável e modernização da agricultura no Brasil, utilizando de mecanismos já existentes para forçar um desenvolvimento que trará mais vantagens ao longo prazo, e aumentando o controle sobre a expansão danosa a biodiversidade brasileira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da inegável importância da soja para a economia nacional e o posicionamento do país internacionalmente, o problema elucidado pelo controle de sintonia fina no agronegócio, causado por excessos no incentivo à expansão, é uma construção sistêmica que vem causando a perda de biodiversidade no Brasil. Tal discrepância tem sua gênese no processo de incentivos governamentais, principalmente no período conhecido como "milagre econômico" (1968-1973), e às normativas como a Lei nº 4.829, de 5 de novembro de 1965 "Lei do Crédito Rural", e a Lei n° 9.456, de 25 de abril de 1997 "Lei das Cultivares". Não obstante, além do incentivo estatal, a participação do mercado financeiro a partir dos anos 1990 se faz inexoravelmente presente no processo de dinamização e capilarização do financiamento da soja, culminando na participação do mercado dentro dos próprios planos safra atualmente, vide o Plano Safra 2024/2025.

Tais práticas foram extremamente bem-sucedidas, culminando em uma expansão célere da soja, saindo do Sul, passando fortemente pelo Centro-Oeste e subindo para o Norte e Nordeste. Esse fenômeno, que transformou o Brasil no maior exportador de soja do mundo, está totalmente ligado à evolução da pesquisa agropecuária no Brasil, encabeçada pela Embrapa, o que possibilitou o desenvolvimento de cultivares para diferentes latitudes, e técnicas de correção de solo. A expansão dessa fronteira, que pode se dividir em 4 fases (Embrapa, 2018), findando na expansão para região Norte do país, é um fenômeno preocupante no tocante à perda da biodiversidade, principalmente no bioma amazônico, quando ocorrido de forma descontrolada.

Como resultado, observa-se que o maior problema da produção sojícola é sua expansão territorial desordenada, uma vez que ao analisar o processo produtivo quando já instaurado, ele possui, de facto, um caráter sustentável, principalmente comparado com outras hortícolas. Além disso, já existem diversas estratégias inovadoras que estão sendo desenvolvidas e utilizadas no campo, para um melhor uso dos recursos hídricos e de solo, não só de caráter preservacionista, mas também regenerativo. Nesse sentido, a agricultura de precisão vem como um limiar entre o passado e o porvir, integrando tecnologias para um aumento de produção com benefícios ambientais a longo prazo (Maraveas, 2024).

Portanto, com a compreensão que a expansão desordenada da fronteira agrícola é o principal motor do paradoxo que atrasa a própria produção de soja no futuro, e que já existem diversos recursos que podem proporcionar um aumento de produtividade, sem açambarcar territorialmente mais ainda os biomas críticos, ou seja, estratégias provindas do Estado

necessitam ser desenhadas. Ergo, o entendimento de que a solução está na estrutura política e regulatória, provém do princípio de *Stimmigkeitskontrolle,* que pôde ser analisado ao comparar a efetividade e o investimento de políticas de controle e de incentivo ao agronegócio. Como resultado, observa-se que políticas de incentivo — com destaque para o Plano Safra 2023/2024, que foi objeto da análise comparativa — compreendem uma efetividade total, tanto em termos de aplicabilidade e capilaridade, quanto orçamentária.

No entanto, tal análise finda em uma afirmação categórica que os excessos no âmbito de políticas de incentivos agrários são presentes, ou seja, que a falta de políticas de contrapeso no domínio ambiental, é a principal causa da expansão territorial descontrolada, que ratifica a perda da biodiversidade em biomas críticos. Por conseguinte, sob a égide desta compreensão, chega-se ao resultado de que os recursos abordados no cap. 3.1 são ineficazes sem o controle Estatal do território, requerendo ações complementares tanto dentro da lavoura, quanto na moderação da expansão juntamente com a continuidade da pesquisa agropecuária. Aqui, entende-se também que as políticas de controle já existentes — vide Tabela 3 — são, quando levadas à sua performance ideal, suficientes para um controle efetivo da fronteira agrícola, no entanto encontram dificuldades, tanto em sua aplicação, quanto em sua distribuição orçamentária.

Por isso, o estudo atinge sua florescência ao compreender o processo motor e expansionista da soja no Brasil, para que chegue-se à identificação do problema — expansão territorial descontrolada — e as razões para tal — excessos e falta de proporcionalidade nas políticas de incentivo — para que então se captem as perspectivas para uma produção sustentável, que se assenta no controle de sintonia fina, atendo-se à utilização ideal dos instrumentos normativos de controle por meio de reorganização institucional, jurídica e orçamentária, confirmando a hipótese do estudo. Ademais, buscou-se por meio do trabalho elucidar compreensões acerca das mazelas que afetam a construção de uma agenda ambiental sólida no Brasil, mas entendendo a importância da soja e do agronegócio, econômico e socialmente, estimulando futuros desenvolvimentos ao redor do tema, e principalmente, sugestões de encaminhamentos práticos, que possam de fato sair do papel. Por isso, almeja-se uma produção sojícola mais intensa e sustentável no Brasil, que não precise recorrer-se à redução territorial de ecossistemas tão caros para a população mundial, coisa que pode ser atingida por meio de estudos e pesquisas na lavoura, para que os benefícios colhidos pela sociedade possam se perpetuar e ser usufruídos também por toda a população brasileira.

Ademais, é válido também apontar que, no campo das Relações Internacionais, ainda existem lacunas significativas no que tange à relação entre as abordagens tradicionais da

disciplina e a pauta agrária, especialmente adequá-las a contemporaneidade, com a inserção financeira e a complexidade que *commodities* como a soja trazem aos países do sul global. Então, apesar da relevância econômica, ambiental e geopolítica da produção agrícola para o posicionamento internacional dos Estados, os marcos teóricos das RI frequentemente relegam essas dinâmicas a um plano secundário, tratando-as de forma generalista ou meramente como externalidades de questões mais centrais como segurança, relações de comércio e poder. Essa ausência teórica apresenta-se como uma oportunidade para avanços na disciplina, sugerindo a necessidade de uma melhor integração entre os estudos de agricultura, meio ambiente e política internacional, a fim de compreender com mais profundidade os nexos de interdependência que estruturam a governança global contemporânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA GOV. **Linha do tempo com cultivares conta a história da soja no Brasil**. 2025. Disponível em: https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202502/linha-do-tempo-com-cultivares-conta-a-historia-da-soja-no-brasil. Acesso em: 19 maio 2025.

AGROGALAXY. **Rotação de culturas com a soja**. Universo AgroGalaxy, 27 fev. 2024. Disponível em: https://universo.agrogalaxy.com.br/2024/02/27/rotacao-de-culturas-com-a-soja/. Acesso em: 21 maio 2025.

ANDRADE, A. R. S. et al. Principais sistemas de captação de água de chuva: uma forma de diminuir os efeitos das secas prolongadas no município de Lagoa do Ouro, Pernambuco. **Revista Em Extensão**, Uberlândia, v. 16, n. 2, p. 101–128, 2018. DOI: 10.14393/REE_v16n22017_art05. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/revextensao/article/view/37061. Acesso em: 1 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE SOJA (APROSOJA BRASIL). **Economia**. [S. l.]: Aprosoja Brasil, [s.d.]. Disponível em: https://aprosojabrasil.com.br/a-soja/economia/#:~:text=O%20Brasil%20industrializa%2042%25%20da,sendo%20a%20meta de%20em%20gr%C3%A3o. Acesso em: 12 abr. 2025.

ARAMENDIS, Rafael; MONDAINI, Andrés; RODRÍGUEZ, Adrián. **Bioinsumos de uso agrícola: situación y perspectivas en América Latina y el Caribe**. Santiago: CEPAL, 2023. 119 p. Disponível em: https://www.cepal.org/es/publicaciones/68714-bioinsumos-uso-agricola-situacion-perspectivas-america-latina-caribe. Acesso em: 26 maio 2025.

ÁVILA, Humberto. **Teoria dos Princípios: da definição à aplicação dos princípios jurídicos**. 21. ed. São Paulo: Malheiros, 2021.

BRASIL. Banco Central do Brasil**. Microrrural.** [S. l.]: Banco Central do Brasil, [s.d.]. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/micrrural . Acesso em: 26 jun. 2025.

BRASIL. Banco Central do Brasil. **Taxa de juros: Selic**. [S. l.]: Banco Central do Brasil, [s.d.]. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic?ref=caiena.net. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 54.019**, de 14 de julho de 1964. Cria a Coordenação Nacional de Integração da Política Rural e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, p. 7749, 14 jul. 1964. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1960-1969/decreto-54019-14-julho-1964-393995-publicacaooriginal-1-pe.html. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 2.145**, de 29 de dezembro de 1953. Cria a Carteira de Comércio Exterior, dispõe sobre o Intercâmbio Comercial com o Exterior, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, p. 21993, 29 dez. 1953. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L2145.htm. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 454**, de 9 de julho de 1937. Autoriza o Tesouro Nacional a conceder garantia de juros e amortização à Carteira de Crédito Agrícola e Industrial do Banco do Brasil, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, p. 15155, 16 jul. 1937. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/1930-1949/L0454.htm. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 4.595**, de 31 de dezembro de 1964. Dispõe sobre o Sistema Financeiro Nacional, cria o Banco Central do Brasil, a nova estrutura para o Banco do Brasil S.A. e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, p. 11633, 31 dez. 1964. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4595.htm. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 8.929**, de 22 de agosto de 1994. Institui a Cédula de Produto Rural, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, p. 12903, 23 ago. 1994. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8929.htm. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.456**, de 25 de abril de 1997. Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Seção 1, p. 8415, 28 abr. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9456.htm. Acesso em: 21 maio 2025.

BRASIL. Comissão de Valores Mobiliários (CVM). **CPC 39 – Demonstrações financeiras consolidadas**. [S. l.]: CVM, 2013. Disponível em: https://conteudo.cvm.gov.br/export/sites/cvm/menu/regulados/normascontabeis/cpc/CPC_39_rev_13.pdf. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Safra - Série Histórica de Grãos**. [S. l.]: Conab, [s.d.]. Disponível em: https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Produção agrícola municipal 2023**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 19 maio 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Portal da Transparência**. [S. l.]: Portal da Transparência, [s.d.]. Disponível em: https://portaldatransparencia.gov.br/orgaos/20701-instituto-brasileiro-do-meio-ambiente-e-dos-recursos-naturais-renovaveis. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Amazônia Legal**. [S. l.]: IPEA, [s.d.]. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2154:catid=28#:~:text=Amaz%C3%B4nia%20Legal&text=A%20Amaz%C3%B4nia%20Legal%20%C3%A9%20uma,5%2C0%20milh%C3%B5es%20de%20km%C2%B2. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Desafios para a sustentabilidade no agronegócio brasileiro**. Brasília, 2020. Disponível em: https://www.ipea.gov.br. Acesso em: 19 maio 2025.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Política Ambiental e Desenvolvimento Sustentável: Subsídios à Construção de uma Agenda Estratégica Nacional**. Brasília, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Ministério da Agricultura e Pecuária**. Brasília, DF: [s.n.], [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br. Acesso em: 9 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Plano Agrícola Pecuário**. [S. l.]: Governo do Brasil, [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/plano-agricola-pecuario?b_start:int=20. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Plano Safra 2024–2025**. Brasília: MAPA, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/plano-safra/2024-2025/folder-plano-safra-2024-2025. Acesso em: 19 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Plano Safra 2024/2025**. Brasília: [s.n.], 2024. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/plano-safra/2024-2025. Acesso em: 9 jun. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Presidente anuncia Plano Safra 2023/2024: R$ 364,22 bilhões para agricultura e pecuária**. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/presidente-anuncia-plano-safra-2023-2024. Acesso em: 16 maio 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Orçamento 2023**. 2023. Disponível em: https://portaldatransparencia.gov.br/orgaos-superiores/44000-ministerio-do-meio-ambiente-e-mudanca-do-clima. Acesso em: 16 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Exportações do agronegócio ultrapassam US$ 153 bilhões no acumulado de 2024**. [S. l.]: Governo do Brasil, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/exportacoes-do-agronegocio-ultrapassam-us-153-bilhoes-no-acumulado-de-2024#:~:text=De%20janeiro%20a%20novembro%20de,das%20exporta%C3%A7%C3%B5es%20brasileiras%20no%20per%C3%ADodo. Acesso em: 12 abr. 2025.

BRASIL. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Relatório de Gestão do Incra 2023**. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br/acesso-a-informacao/transparencia-e-prestacao-de-contas/Relatorio_de_Gestao_do_Incra_2023_v26mar2024.pdf. Acesso em: 16 maio 2025.

BRASIL DE FATO. **Dois terços da soja produzida no Brasil é exportada, e China é maior comprador**. 10 dez. 2024. Disponível em: https://www.brasildefato.com.br/2024/12/10/dois-tercos-da-soja-produzida-no-brasil-e-exportada-e-china-e-maior-comprador/#:~:text=In%C3%ADcio%20Geral-,Dois%20ter%C3%A7os%20da%20soja%20produzida%20no%20Brasil%20%C3%A9,e%20China%20%C3%A9%20maior%20comprador. Acesso em: 12 abr. 2025.

BUENO, Inácio T. et al. Mapping integrated crop-livestock systems in Brazil with PlanetScope time series and deep learning. **Remote Sensing of Environment**, v. 292, p. 113886, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425723004376. Acesso em: 1 maio 2025.

CAMPOS, Tiago Soares. Milagre econômico brasileiro. **Brasil Escola**. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/historiab/milagre-economico-brasileiro.htm. Acesso em: 5 abr. 2025.

CARVALHO, Délton Winter de; BARBOSA, Kelly de Souza. O Cadastro Ambiental Rural (CAR) e seus desafios para a efetiva proteção do meio ambiente. **Revista Novos Estudos Jurídicos**, v. 24, n. 3, p. 855–881, set.-dez. 2019. Disponível em: https://periodicos.univali.br/index.php/nej/article/download/15493/pdf. Acesso em: 26 maio 2025.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA/ESALQ). **PIB da Cadeia de Soja e Biodiesel**. [S. l.]: CEPEA/ESALQ, 2025. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-da-cadeia-de-soja-e-biodiesel-1.aspx. Acesso em: 12 abr. 2025.

COLUMBIA UNIVERSITY. Mailman School of Public Health. **How climate change is stressing global food supply and public health**. [S. l.]: Columbia University's Mailman School of Public Health, 2025. Disponível em: https://www.publichealth.columbia.edu/news/how-climate-change-stressing-global-food-supply-public-health. Acesso em: 12 abr. 2025.

DA SILVA TISCOSKI, Natalia. **Estufas inteligentes e eficientes energeticamente: uma análise descritiva da literatura**. **Revista e-TECH: Tecnologias Para Competitividade Industrial**, SENAI ISC, v. 15, n. 3, p. e15372, 2022. ISSN 1983-1838.

DE JESUS, L. C.; PERES, W. L. R. Os impactos da utilização de drones na agricultura. **Revista Contemporânea**, [S. l.], v. 3, n. 11, p. 22713–22736, 2023. DOI: 10.56083/RCV3N11-137. Disponível em: https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/2306. Acesso em: 1 maio 2025.

DIMENSIONS. **Publicações**. Dimensions, 2025. Disponível em: https://app.dimensions.ai/discover/publication. Acesso em: 12 abr. 2025.

DORNELAS, L. N. de D. Evolução da política de crédito rural no Brasil: uma análise histórica. **Extensão Rural**, v. 27, n. 2, p. 25–39, 2020. DOI: https://doi.org/10.5902/2318179637583.

ELOY, Ludivine; SENRA, Estevão B.; SILVA, Andréa Leme da; CAMPOS, Ciro. A aceleração recente da produção de soja na Amazônia: uma história do desmonte ambiental "em prática" no estado de Roraima. **Nuevo Mundo Mundos Nuevos**, [online], Questions du temps présent, 13 out. 2023. Disponível em: http://journals.openedition.org/nuevomundo/93688. Acesso em: 12 abr. 2025. DOI: https://doi.org/10.4000/nuevomundo.93688.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **A saga da soja: de 1050 a.C. a 2050 d.C.** Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1093166/a-saga-da-soja-de-1050-ac-a-2050-dc. Acesso em: 19 maio 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **História da soja**. Embrapa Soja. Disponível em: https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia. Acesso em: 19 maio 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Insumos Biológicos**. [S. l.]: Embrapa, [s.d.]. Disponível em: https://www.embrapa.br/portfolio/insumos-biologicos. Acesso em: 21 maio 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manejo da cultura do milho segunda safra (safrinha) em Rondônia**. [S. l.]: Embrapa, 2021. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1146442/1/6064.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Página principal da Embrapa Soja**. [S. l.]: Embrapa Soja, [s.d.]. Disponível em: https://sbc.cnpso.embrapa.br/pt/. Acesso em: 21 maio 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Plano Diretor 2024–2030**. Brasília: Embrapa, 2024. Disponível em: https://www.embrapa.br/plano-diretor-2024-2030. Acesso em: 19 maio 2025.

EPSTEIN, G. Financialization, Rentier Interests, and Central Bank Policy. 2001. Manuscrito. Department of Economics, University of Massachusetts, Amherst, MA.

EOS. **Monocultura agrícola**. [S. l.]: EOS, [s.d.]. Disponível em: https://eos.com/pt/blog/monocultura-agricola/. Acesso em: 21 maio 2025.

ESTEVAM, G. C. et al. **Desafios do Agronegócio Brasileiro**. 2023. Disponível em: https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-05/Artigo5.pdf. Acesso em: 6 maio 2025.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT – Agriculture data. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL. Acesso em: 02 jul. 2025.

FERREIRA, J. A.; BARBOSA, J. M.; LIMA, S. K. R.; CABRAL NETO, Otávio. O uso da inteligência artificial na agricultura. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, [S. l.], v. 9, n. 1, 2024. DOI: 10.61164/rmnm.v9i1.2907. Disponível em: https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/2907. Acesso em: 1 maio 2025.

FGV CPDOC. **Revolução de 1930**. [S. l.]: FGV CPDOC, [s.d.]. Disponível em: https://cpdoc.fgv.br/sites/default/files/verbetes/primeira-republica/REVOLU%C3%87%C3%83O%20DE%201930.pdf. Acesso em: 12 abr. 2025.

FRANCHINI, J. C. et al. **Sistema Plantio Direto e a sustentabilidade da produção de grãos no Sul do Brasil**. [S. l.]: Embrapa, 2011. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/897259. Acesso em: 6 maio 2025.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DO AMAZONAS (FAPEAM). **Apenas 5% do solo da Amazônia Legal é naturalmente fértil, diz estudo do IBGE**. [S. l.]: FAPEAM, [s.d.]. Disponível em: https://www.fapeam.am.gov.br/apenas-5-do-solo-da-amazonia-legal-e-naturalmente-fertil-diz-estudo-do-ibge/#:~:text=De%20acordo%20o%20Banco%20de,.136%2C3%20quil%C3%B4metros%20quadrados. Acesso em: 12 abr. 2025.

GIZ. **Expertise: Impacts of Climate Change on Agriculture**. [S. l.]: GIZ, 2025. Disponível em: https://www.giz.de/expertise/html/60132.html. Acesso em: 12 abr. 2025.

GODOY, A. **A Política Externa Brasileira e o Agronegócio: Desafios e Contradições**. 1. ed. São Paulo: Editora X, 2007.

GUNDIM, A. S. et al. Precision irrigation trends and perspectives: a review. **Ciência Rural**, v. 53, n. 8, p. e20220155, 2023. DOI: 10.1590/0103-8478cr20220155.

HORADOPOVO. **Ibama tem corte de 19% na verba de combate a incêndios na véspera do início das queimadas**. 2023. Disponível em: https://horadopovo.com.br/ibama-tem-corte-de-19-na-verba-de-combate-a-incendios-na-vespera-do-inicio-das-queimadas/. Acesso em: 16 maio 2025.

IBGE. **IBGE: apesar de estiagem, Brasil teve safra recorde no ano passado**. Agência Brasil, 6 set. 2023. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-09/ibge-apesar-de-estiagem-brasil-teve-safra-recorde-no-ano-passado#:~:text=O%20principal%20produto%20agr%C3%ADcola%20do,R%24%20345%2C4%20bilh%C3%B5es. Acesso em: 12 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Publicação inédita do IBGE mostra elevado potencial natural para a agricultura no país**. Agência de Notícias IBGE, [S. l.], 2024. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35693-publicacao-inedita-do-ibge-mostra-elevado-potencial-natural-para-a-agricultura-no-pais. Acesso em: 12 abr. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). IPEADATA. **Taxa de juros de longo prazo (TJLP) - Média mensal**. [S. l.]: IPEADATA, [s.d.]. Disponível em: http://www.ipeadata.gov.br/exibeserie.aspx?serid=38402. Acesso em: 12 abr. 2025.

KEOHANE, R.; NYE, J. **Power and Interdependence**. 4. ed. Boston: Longman, 2012.

LIMA, A. C. B. de; FERREIRA, A. R. de C. O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público x setor privado. **Revista Multiface Online**, [S. l.], v. 3, p. 56–58, 2016. Disponível em: https://revistas.face.ufmg.br/index.php/multiface/article/view/3481. Acesso em: 12 abr. 2025.

LOPES, Alfredo Scheid; WIETHÖLTER, Sírio; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães; SILVA, Carlos Alberto. **Sistema Plantio Direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2024/09/Sistema-Plantio-Direto-Bases-para-o-Manejo-da-Fertilidade-do-Solo-2004.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

MACHADO, Izabela. **Plano ABC+: como a educação aliada a práticas de baixa emissão de carbono pode transformar o agronegócio**. Agroadvance, 15 dez. 2023. Disponível em: https://agroadvance.com.br/blog-plano-abc-agricultura-de-baixo-carbono/. Acesso em: 27 maio 2025.

MACHADO, P. L. O. de A. **Compactação do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/338323/1/doc562003compactacaosolo.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

MAIA, F. N. C. da S.; AGUIAR, D. R. D. de. Estratégias de hedge com os contratos futuros de soja da Chicago Board of Trade. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 3, p. 617–626, 2010.

MALUF, Renato; FLEXOR, Georges. **Questões agrárias, agrícolas e rurais: conjunturas e políticas públicas**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2017.

MARAVEAS, Chrysanthos; KONAR, Debanjan; MICHOPULOS, Dimosthenis K.; ARVANITIS, Konstantinos G.; PEPPAS, Kostas P. Harnessing quantum computing for smart agriculture: Empowering sustainable crop management and yield optimization. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 218, p. 108680, 2024. DOI: 10.1016/j.compag.2024.108680. Acesso em: 6 maio 2025.

MARENGO, José A. **Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 2014. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/mc_eventos_extremos_brasil.pdf. Acesso em: 26 maio 2025.

MARIN, F. R. et al. Protecting the Amazon forest and reducing global warming via agricultural intensification. **Nat Sustain**, v. 5, p. 1018–1026, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41893-022-00968-8.

MARQUES, Andrea Neves Gonzaga. **Princípio da proporcionalidade e seus fundamentos**. TJDFT, 2010. Disponível em: https://www.tjdft.jus.br/institucional/imprensa/campanhas-e-produtos/artigos-discursos-e-entrevistas/artigos/2010/principio-da-proporcionalidade-e-seus-fundamentos-andrea-neves-gonzaga-marques. Acesso em: 19 maio 2025.

MATIAS, Átila. **Revolução Verde**. Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/geografia/revolucao-verde.htm. Acesso em: 12 abr. 2025.

MAZZUCATO, M. **O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público x setor privado**. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.

MELO, R. F. de. **Manejo do solo**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/uva-para-processamento/producao/solo-e-adubacao/manejo-do-solo?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 21 maio 2025.

MENDES, Gilmar Ferreira; BRANCO, Paulo Gustavo Gonet. **Curso de Direito Constitucional**. 9. ed. São Paulo: Saraiva, 2014. Disponível em: https://morumbidireito.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/04/curso-de-direito-constitucional-gilmar-mendes.pdf. Acesso em: 8 maio 2025.

MENDES, J. T. G.; PADILHA JUNIOR, J. B. Estratégias de comercialização da soja: análise de portfólios, sob condições de risco. **Production**, v. 18, n. 3, p. 441–451, set. 2008.

MIT. Climate. **Will climate change make weather forecasting less accurate?** [S. l.]: MIT Climate, 2025. Disponível em: https://climate.mit.edu/ask-mit/will-climate-change-make-weather-forecasting-less-accurate. Acesso em: 12 abr. 2025.

MOURA, Álisson et al. Eficiência agronômica e qualidade sanitária de biofertilizantes aplicados no solo em cultivo orgânico da alface. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, p. 346-352, 2020. DOI: 10.18378/rvads.v15i4.7958.

NPR. **Climate Change: How Weather Forecasts Are Changing**. 11 jun. 2024. Disponível em: https://www.npr.org/2024/06/11/nx-s1-4983732/climate-change-weather-forecasts. Acesso em: 12 abr. 2025.

NUSDEO, Ana Maria. **Anistias ambientais no Brasil desestimulam o cumprimento da lei**. Jornal da USP, 2021. Disponível em: https://jornal.usp.br/atualidades/anistias-ambientais-no-brasil-desestimulam-o-cumprimento-da-lei/. Acesso em: 26 maio 2025.

OBSERVATÓRIO DO CÓDIGO FLORESTAL. **BVRio atualiza status de adesão ao Programa de Regularização Ambiental (PRA) nos Estados**. 8 maio 2024. Disponível em: https://observatorioflorestal.org.br/bvrio-atualiza-status-de-adesao-ao-programa-de-regularizacao-ambiental-pra-nos-estados/. Acesso em: 27 maio 2025.

OBSERVATÓRIO DO CÓDIGO FLORESTAL. **Código Florestal com anistia a desmatadores: STF perdoa multas que somam R$ 8,4 bilhões**. IHU Unisinos, 2022. Disponível em: https://www.ihu.unisinos.br/78-noticias/576513-codigo-florestal-com-anistia-a-desmatadores-stf-perdoa-multas-que-somam-r-8-4-bilhoes. Acesso em: 26 maio 2025.

OLIVEIRA, Ana Clara Marques Kono de. **A imunidade à fiscalização e anistia de multas no Código Florestal Brasileiro: reflexos para a proteção ambiental**. 2021. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/7027. Acesso em: 26 maio 2025.

OLIVEIRA JUNIOR, C. J. F.; CABREIRA, P. P. Sistemas agroflorestais: potencial econômico da biodiversidade vegetal a partir do conhecimento tradicional ou local. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 212–244, 2012. Disponível em: https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/1153. Acesso em: 1 maio 2025.

ONUF, Nicholas. **World of Our Making: Rules and Rule in Social Theory and International Relations**. Columbia, SC: University of South Carolina Press, 1989.

PAIVA, Gisele Barbosa de; SANTOS, Alexandre Barreto Almeida dos. Análise da implementação do Zoneamento Ecológico Econômico no Tocantins a partir da visão dos

atores locais. **Geosul**, Florianópolis, v. 38, n. 87, p. 480–503, mai./ago. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.5007/2177-5230.2023.e92783. Acesso em: 27 maio 2025.

PENA, Rodolfo. **Fronteira agrícola no Brasil**. Mundo Educação, 2025. Disponível em: https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/fronteira-agricola-no-brasil.htm. Acesso em: 19 maio 2025.

PODER 360. **Salles sugere "ir passando a boiada" para mudar regras durante pandemia**. Poder360, [S. l.], 2020. Disponível em: https://www.poder360.com.br/governo/salles-sugere-ir-passando-a-boiada-para-mudar-regras-durante-pandemia/. Acesso em: 12 abr. 2025.

RADAR AGTECH 2024 – Embrapa, SP Ventures, Homo Ludens. **Radar Agtech 2024: Mapeamento das startups, ambientes de inovação e investidores do ecossistema agro**. São Paulo, 2024. Disponível em: https://static.poder360.com.br/2025/05/Radar_Agtech_2024_Embrapa_SP_Ventures_Homo-Ludens_mapeamento_das_startups_ambientes_de_inovacao_e_investidores_do_ecossistema_agro.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

REDIVO, A. D. S.; FONSECA, P. C. D. A atuação da Carteira de Crédito Agrícola e Industrial do Banco do Brasil (CREAI): 1937-1969. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 42, n. 4, p. 1080–1102, out. 2022.

SANTOS, J. L. S.; MADARI, B. E.; TSAI, S. M. **Manejo da matéria orgânica do solo na agricultura tropical**. [S. l.]: Embrapa, 2013. Disponível em: http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/978479. Acesso em: 6 maio 2025.

SCHMITT, Jair. **Crime sem castigo: a efetividade da fiscalização ambiental para o controle do desmatamento ilegal na Amazônia**. 2015. 188 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/teses/jairschmitttese.pdf. Acesso em: 27 maio 2025.

SCIENCEDIRECT. **Finance**. [S. l.]: ScienceDirect, 2025. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/topics/social-

sciences/finance#:~:text=Finance%20is%20defined%20as%20the,financial%20instruments%2C%20and%20financial%20markets. Acesso em: 12 abr. 2025.

SILVA, Carlos Bernard Moreno Cerqueira et al. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2017. 88 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, 189). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1098740/1/Melhoramentodeplantas.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

SILVA, F. G. C. e; CASTRO, A. de; SILVA, F. C. da; YANO, I. H. **Uso de blockchain para registro de dados de cadeia de suprimentos verde da indústria sucroenergética**. [S. l.]: Embrapa, 2020. (Comunicado Técnico). Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126142. Acesso em: 21 maio 2025.

SILVA, João. **A revolução de 1930 e seus impactos na economia e política do Brasil**. 2021. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Economia) – Instituto Três Rios, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2021. Disponível em: https://www.itr.ufrrj.br/portal/wp-content/uploads/biblioteca/tcc/T55.pdf. Acesso em: 19 maio 2025.

SIMÕES, Daniela. **Por que a moratória da soja só vale para a Amazônia e não inclui o Cerrado?** Época, Blog do Planeta, 8 mar. 2017. Disponível em: https://epoca.globo.com/ciencia-e-meio-ambiente/blog-do-planeta/noticia/2017/03/por-que-moratoria-da-soja-so-vale-para-amazonia-e-nao-inclui-o-cerrado.html. Acesso em: 27 maio 2025.

SOUSA, Silvio Braz de; FERREIRA JUNIOR, Laerte Guimarães; MIZIARA, Fausto; MORAIS, Hugo Arruda de. Crédito rural no Brasil: evolução e distribuição espacial (1969–2016). **Confins**, [online], n. 45, 2020. Disponível em: http://journals.openedition.org/confins/29836. Acesso em: 12 abr. 2025. DOI: https://doi.org/10.4000/confins.29836.

STRANGE, Susan. States and Markets: The Political Economy of International Relations. Londres: Pinter Publishers, 1988.

TARIFA LOPES, V. A reprimarização das exportações brasileiras em perspectiva histórica de longa duração. **Carta Internacional**, v. 15, n. 3, 2020. DOI: https://doi.org/10.21530/ci.v15n3.2020.1029.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Northwest no-till farming & climate resilience**. [S. l.]: U.S. Department of Agriculture, 2025. Disponível em: https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/northwest/topic/northwest-no-till-farming-climate-resilience. Acesso em: 19 maio 2025.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Climate Change Impacts on Agriculture and Food Supply**. [S. l.]: EPA, 2025. Disponível em: https://www.epa.gov/climateimpacts/climate-change-impacts-agriculture-and-food-supply. Acesso em: 12 abr. 2025.

WESZ JUNIOR, V. J. et al. Dinâmicas recentes do agronegócio no Oeste do Pará (Brasil): expansão da soja e estruturação de corredores logísticos. **Mundo Agrario**, [S. l.], v. 22, n. 50, p. e174, 2021. DOI: 10.24215/15155994e174. Disponível em: https://www.mundoagrario.unlp.edu.ar/article/view/mae174. Acesso em: 12 abr. 2025.

WILLIAMSON, John. What Washington Means by Policy Reform. In: WILLIAMSON, John (Ed.). **Latin American Adjustment: How Much Has Happened?** Washington, D.C.: Institute for International Economics, 1990. p. 7–20.

APÊNDICE 1 - RESUMO DAS FONTES AVALIADAS EM "TABELA 2"

Tecnologia / Prática	Artigo	Foco	Método
Sensores de umidade e temperatura do solo	GREGO, C. R. et al. (2020)	Tecnologias desenvolvidas em Agricultura de Precisão.	Qualitativo
Drones agrícolas	DE JESUS, L. C.; PERES, W. L. R. (2023)	Os impactos da utilização de drones na agricultura	Qualitativo
Satélites e inteligência artificial	BUENO, Inácio T. et al. (2023)	*Mapping integrated crop-livestock systems in Brazil with planetscope time series and deep learning*	Quantitativo
Modelos preditivos	Neto (2023)	Qual a importância da análise preditiva no agronegócio?	Qualitativo
Irrigação de precisão	GUNDIM, A. DA S. et al. (2023)	Tendências e perspectivas da irrigação de precisão: uma revisão	Qualitativo
Captação e armazenamento de água da chuva	ANDRADE, A. R. S. et al. (2018)	Principais sistemas de captação de água de chuva	Estudo de Caso
Agroflorestas	OLIVEIRA JUNIOR, C. J. F.; CABREIRA, P. P. (2012)	SISTEMAS AGROFLORESTAIS: POTENCIAL ECONÔMICO DA BIODIVERSIDADE VEGETAL A PARTIR DO CONHECIMENTO TRADICIONAL OU LOCAL	Qualitativo
Uso de biofertilizantes	MOURA et al. (2020)	Eficiência agronômica e qualidade sanitária de biofertilizantes aplicados no solo em cultivo orgânico da alface	Estudo de Caso

Culturas resistentes à seca, calor e enchentes	Marengo (2014)	MUDANÇAS CLIMÁTICAS, CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS EXTREMAS E EVENTOS CLIMÁTICOS NO BRASIL	Estudo de Caso
Plantas adaptadas contra pragas e doenças	SILVA et al. (2017)	MELHORAMENTO DE PLANTAS: variabilidade genética, ferramentas e mercado	Qualitativo
Uso de bioinsumos	Aramendis, Mondaini e Rodríguez (2023)	Bioinsumos de uso agrícola: situación y perspectivas en América Latina y el Caribe	Quantitativo
Agricultura vertical e estufas inteligentes	(TISCOSKI, 2022)	Estufas Inteligentes e Eficientes Energeticamente: uma análise descritiva da literatura	Qualitativo
Plantio direto	Lopes et al. (2004)	SISTEMA PLANTIO DIRETO: BASES PARA O MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO	Qualitativo
Tratores e colheitadeiras autônomas	(FERREIRA et al., 2024)	O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AGRICULTURA	Qualitativo
Softwares de gestão agrícola	(FERREIRA et al., 2024)	O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AGRICULTURA	Qualitativo
Blockchain para rastreamento de alimentos	SILVA, F. G. C. et al. (2020)	Uso de blockchain para registro de dados de Cadeia de Suprimentos Verde da indústria sucroenergética.	Estudo de caso
Rotação de culturas	FRANCHINI, J. C. el. al. (2011)	Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná.	Qualitativo

Uso de biochar	SANTOS, J. L. S.; MADARI, B. E.; TSAI, S. M. (2013)	Efeito da biocarvão após seis anos de cultivo de soja (Glycine max L.) na biomassa microbiana do solo, em cerrado.	Quantitativo
Captação de carbono no solo	ESTEVAM G. C. et al. (2023)	POTENCIAL DE DESCARBONIZAÇÃO DA SOJA BRASILEIRA	Quantitativo